



TUGAS AKHIR - TM 145502

**ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA OVEN
MENGGUNAKAN PEMANAS LISTRIK UNTUK
PROSES PENGERINGAN DAUN KELOR**

AHMAD HISYAM
NRP 2113 030 033

Dosen Pembimbing I
Ir. Joko Sarsetiyanto, MT
NIP 19610602 198701 1 001

Dosen Pembimbing II
Ir. Denny M.E. Soedjono, MT
NIP 19570331 198803 1 001

PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



FINAL PROJECT - TM 145502

**HEAT TRANSFER ANALYSIS BASED ON
ELECTRIC HEATERS OVEN FOR DRYING
PROCESS *MORINGA* LEAVES**

**AHMAD HISYAM
NRP 2113 030 033**

**1st Conselor Lecturer :
Ir. Joko Sarsetiyanto, MT
NIP 19610602 198701 1 001**

**2nd Conselor Lecturer :
Ir. Denny M.E. Soedjono, MT
NIP 19570331 198803 1 001**

**STUDY PROGRAM DIPLOMA III
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty Of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya
2016**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA OVEN MENGUNAKAN PEMANAS LISTRIK UNTUK PROSES PENGERINGAN DAUN KELOR

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Ahli Madya
pada

Bidang Studi Konversi Energi
Program Studi Diploma III Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

AHMAD HISYAM
NRP 2113 030 033

Mengetahui dan Menyetujui,
Dosen Pembimbing I

Mengetahui dan Menyetujui,
Dosen Pembimbing II

Ir. Joko Sarsetiyanto, MT
NIP 19610602 198701 1 001

PROGRAM STUDI
D3 TEKNIK MESIN

Ir. Denny M.E. Soedjono, MT
NIP 19570331 198803 1 001

SURABAYA, JULI 2016

ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA OVEN MENGUNAKAN PEMANAS LISTRIK UNTUK PROSES PENGERINGAN DAUN KELOR

Nama Mahasiswa : Ahmad Hisyam
NRP : 2113 030 033
Jurusan : D3 Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing I : Ir. Joko Sarsetiyanto, MT.
Dosen Pembimbing II : Ir. Denny M.E. Soedjono, MT.

Abstrak

Pada era modern dengan diikuti kemajuan teknologi yang pesat, industri pemrosesan khususnya mengenai obat-obatan herbal sangat memerlukan sebuah alat seperti oven pengering untuk mendukung proses produksinya. Dengan menggunakan oven pengering ini akan mampu menghasilkan produk obat-obatan herbal lebih cepat daripada dengan cara konvensional berupa panas dari matahari.

Oven pengering yang ada saat ini memerlukan perbandingan, karena di dalam oven terjadi pemerataan distribusi temperatur. Untuk menanggulangi hal tersebut maka dirancang oven yang menggunakan sumber panas dari Pemanas Listrik, memiliki sistem sirkulasi udara panas, rak yang berfungsi sebagai pengalir panas dan lubang disamping kiri-kanan oven. Selain itu, di dalam oven memiliki konstruksi berupa lapisan dari plat alumunium-glasswool-galvalum untuk mengurangi panas yang keluar melewati dinding ($Q_{\text{loss dinding}}$).

Hasil perancangan untuk produk daun kelor dengan daya tampung 350 gram adalah oven yang memiliki $P \times L \times T = 1,170 \text{ meter} \times 0,810 \text{ meter} \times 1,775 \text{ meter}$. Uji coba menghasilkan Q_{in} sebesar 106,3189 W dan $Q_{\text{evaporasi}}$ sebesar 17,4071 W sehingga dihasilkan efektifitas oven sebesar 62,80 % dan waktu rata-rata proses pengeringan adalah 300 menit. Dengan temperatur ideal untuk oven sebesar 50°C.

Kata Kunci : Pengeringan, Oven, Daun Kelor

HEAT TRANSFER ANALYSIS BASED ON ELECTRIC HEATERS OVEN FOR DRYING PROCESS MORINGA LEAVES

Name Of Student : Ahmad Hisyam
NRP : 2113 030 033
Department : Mechanical Engineering FTI-D3 ITS
Conselor Lecturer I : Ir. Joko Sarsetiyanto, MT.
Conselor Lecturer II : Ir. Denny M.E. Soedjono, MT.

Abstract

In the modern era with the rapid advances in technology are followed, especially concerning the processing industry of herbal medicines is in need of a tool such as oven dryer to support the production process. By using these dryers ovens will be able to produce herbal medicines more quickly than with the conventional way in the form of heat from the Sun.

Oven dryer available today require a comparison, because inside the oven going Equalization of temperature distribution. To cope with it then designed oven that uses a heat source of electric heater, hot air circulation system, shelves that serve as hot and pengalir hole beside the left oven. In addition, inside the oven has a construction in the form of a layer of aluminum plate-glasswool-galvalum to reduce heat out past the wall (Qloss walls).

The results of the design for the product leaves kelor with a capacity of 350 grams is an oven which has $1.170 \text{ meters} \times P \times L \times T = 0.810 \text{ meters} \times 1.775 \text{ metres}$. Trial produce of $Q_{in} 106.3189 \text{ W}$ and $Q_{evaporasi} 17.4071 \text{ W}$ so that the resulting effectiveness of oven 62.80% and the average time the drying process is 300 minutes. Ideal for oven temperature of 50°C .

Keywords: Drying ,Oven , Moringa Oleifera

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak	iv
Kata Pengantar.....	vi
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	x
Daftar Tabel	xi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Metode Penelitian	4
1.7 Sistematika Penulisan	5

BAB II DASAR TEORI

2.1 Perpindahan Panas.....	7
2.1.1 Pengertian Perpindahan Panas.....	7
2.1.2 Perpindahan Panas Konduksi	8
2.1.3 Perpindahan Panas Konveksi	13
2.1.4 Perpindahan Panas Gabungan	21
2.2 Kekekalan Energi.	23
2.2.1 Kekekalan Energi Volume Atur	23
2.2.2 Kesetimbangan Energi Permukaan.....	24
2.3 Perpindahan Panas Kalor Sensibel dan Kalor Laten	25
2.3.1 Kalor Sensibel	25
2.3.2 Kalor Laten	25
2.4 Proses Pengeringan.	26
2.5 Aliran Laminar dan Turbulen.....	28
2.6 Daun Kelor (Moringa Oleifera).....	30

BAB III METODOLOGI

3.1 Fiksasi Desain dan Dimensi Alat.....	33
3.2 Diagram Alir Tugas Akhir.....	35
3.2.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	35
3.2.2 Diagram Alir Perhitungan Tugas Akhir.....	35
3.3 Prosedur Percobaan/Pengujian	38
3.3.1 Pengujian	38
3.3.2 Peralatan Ukur Untuk Pengujian.....	39
3.4 Tata Cara Pengujian.....	42
3.4.1 Tahap Persiapan.....	42
3.4.2 Tahap Pengambilan Data	43
3.4.3 Tahap Setelah Pengujian.....	43
3.4.4 Tahap Pengolahan Data	44

BAB IV PERHITUNGAN DAN PERANCANGAN ALAT

4.1 Data Spesifikasi Alat	45
4.2 Neraca Kalor Pada Proses Pengeringan dengan oven.....	48
4.3 Perhitungan Laju Perpindahan Panas yang Dibutuhkan di Ruang Oven.....	49
4.3.1 Perhitungan Qloss (W) Pada Jenis Material Yang Digunakan.....	49
4.3.2 Perhitungan Qloss Pada Ruang Bakar	60
4.3.3 Perhitungan Qeksfiltrasi	68
4.3.4 Perhitungan Qsensible	70
4.3.5 Perhitungan Qevaporasi.....	71
4.3.6 Perhitungan Panas yang masuk ke pengering (Qin)	73
4.3.7 Perhitungan Efektifitas Oven	73

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	76

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data Pengukuran Bahan.	46
Tabel 4.2	Data Pengukuran Dalam Oven.	47
Tabel 4.3	Pengukuran Surface Dalam dan Luar Oven.	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perpindahan Panas konduksi, konveksi dan radiasi.....	8
Gambar 2.2 Perpindahan Panas konduksi dengan diffusi energi akibat aktivitas molekuler.....	9
Gambar 2.3 Konduksi satu dimensi steady state.....	10
Gambar 2.4 Pertumbuhan lapisan batas perpindahan panas konveksi	14
Gambar 2.5 Perpindahan Panas Konveksi	19
Gambar 2.6 Perpindahan panas antara konduksi dengan Konveksi	22
Gambar 2.7 Kekelatan energi Volume Atur	23
Gambar 2.8 Kekekalan energi permukaan sebuah media.	24
Gambar 2.9 Lapisan batas kecepatan pada plat datar.....	29
Gambar 2.10 Daun kelor	30
Gambar 3.1 Gambar tampak depan dan samping oven Pengering Daun Kelor.....	33
Gambar 3.2 Gambar penampang rak dan kompor oven Pengering Daun Kelor.	34
Gambar 3.3 Diagram alir pengerjaan tugas akhir	36
Gambar 3.4 Diagram alir perhitungan tugas akhir	38
Gambar 3.5 Ruang Pemanas.....	39
Gambar 3.6 Thermometer.....	39
Gambar 3.7 Anemometer	40
Gambar 3.8 Timbangan Digital	40
Gambar 3.9 Hygrometer	41
Gambar 3.10 Tachometer	42

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Manusia dihadapkan pada kondisi zaman yang berkembang dengan cepat dan sejalan dengan teknologi yang semakin maju. Maka dari itu tentunya mendorong setiap individu harus mampu mengikuti perkembangan teknologi-teknologi yang semakin canggih itu. Seiring dengan hal tersebut maka cara-cara konvensional pun harus rela untuk ditinggalkan.

Pada lingkungan usaha kecil menengah atau biasa disebut (UKM) ,banyak ditemui sistem konvensional yang masih digunakan. Tidak terkecuali dalam bidang pemrosesan obat-obatan khususnya obat tradisional. Saat ini masyarakat banyak memilih alternatif kesehatan dengan memilih pengobatan tradisional.

Oleh karena itu cara ini tidak cukup efektif bagi produsen obat-obatan tradisional tersebut. Kelor (*Moringa oleifera*) merupakan obat herbal yang telah mendunia. Daun kelor mengandung setidaknya 15 nutrisi didalamnya antara lain : vitamin A;B1;B2;B3; E;zat besi; kalsium; asam amino dsb. Beberapa khasiat dari tanaman herbal ini yakni mencegah radikal bebas, anti-inflamasi,rematik,diabetes dan masih banyak lagi. Daun ini diolah dengan cara dikeringkan dan jika mengandalkan sinar matahari akan membutuhkan waktu kurang lebih selama 3-4 hari jika dijemur dibawah terik sinar matahari secara langsung. Namun apabila cuaca sedang tidak baik maka akan memakan waktu pengeringan lebih lama yakni kurang lebih 7 hari.

Menengok fenomena tersebut maka dirasa akan kurang efisien apabila masih menggunakan sistem konvensional. Dampak yang ditimbulkan juga sangat merugikan khususnya pada produsen pengolah obat-obatan tradisional. Oleh karena itu didapat solusi dari masalah tersebut yakni menggunakan teknologi mesin oven pengering.

Pengeringan itu sendiri adalah suatu proses untuk mengeluarkan atau menghilangkan sebagian air suatu bahan

dengan atau tanpa adanya bantuan energi panas. Pengeringan juga merupakan proses pemindahan panas dan uap air secara simultan, yang memerlukan energi panas untuk menguapkan dan menghilangkan kandungan air yang dipindahkan dari permukaan bahan, yang dikeringkan oleh media pengering yang biasanya berupa panas.

Oven yang digunakan ini tentu memiliki batas optimal ketika mengeringkan produk. Hal ini merupakan salah satu alasan mengapa masyarakat luas masih sangat jarang untuk menggunakannya. Mesin ini terdapat banyak keunggulan yakni lebih efisien waktu, tenaga dan tentunya lebih higienis.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang diatas, maka penulis berusaha mengemukakan beberapa rumusan masalah yang dihadapi dalam bidang teknologi pengeringan daun kelor.

Permasalahan yang dicari penyelesaiannya melalui Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana mendapatkan dimensi oven yang sesuai agar pengeringan daun kelor dilakukan dengan baik dan efisien?
2. Berapa efektifitas dan daya tampung bahan (daun kelor) maksimal pada rak di dalam oven?

1.3 Tujuan Penelitian

Dalam penelitian ini penulis memiliki maksud dan tujuan, yaitu untuk menganalisis perpindahan panas pada oven pengering yang telah dibuat, antara lain :

1. Untuk mendapatkan suatu alat pengering yang tidak tergantung terhadap cuaca, dan dapat memenuhi kriteria yang dibutuhkan untuk menunjang proses pengeringan yang baik dan efisien.
2. Untuk mengetahui efisiensi, daya tampung maksimal dan neraca kalor dari oven.

1.4 Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini, akan didapat beberapa manfaat yaitu memberi solusi bagi masyarakat dalam menciptakan alat yang berguna untuk menunjang proses pengeringan suatu bahan guna meningkatkan mutu kualitas dan kuantitas produksi daun kelor.

1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini agar pembahasan tidak terlalu meluas, perlu adanya suatu batasan masalah dalam penelitian ini. Berikut merupakan batasan masalahnya :

1. Dalam perhitungan diasumsikan :
 - Kondisi steady state.
 - Temperatur dinding dianggap seragam.
 - Efek radiasi diabaikan.
 - Temperatur dan kelembaban udara diluar pengering dianggap konstan.
2. Tidak membahas karakteristik aliran udara pengering yang melalui produk.
3. Tidak membahas bukaan dan ketinggian cerobong.
4. Tidak membahas bukaan ventilasi samping luar.
5. Hanya membahas proses perpindahan panas dan perpindahan massa secara umum.
6. Tidak membahas rancangan konstruksi alat dan kontrol.
7. Badan Oven dianggap luas sehingga koefisien konveksi di dalam oven didekati dengan persamaan Konveksi Aliran Bebas dengan Aliran External.
8. Pengujian hanya dilakukan pada beban maksimum yaitu 350 gram

1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan penulis untuk mencapai tujuan dari penelitian di dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. *Studi Literatur*
Kegiatan ini dilakukan untuk mendapatkan dasar-dasar teori yang mengacu pada tema dari tugas akhir ini. Diperoleh dengan mencari referensi pada buku, makalah, jurnal, dan buku tugas akhir yang berhubungan dengan modifikasi mesin berbahan bakar gas dengan tujuan mendapatkan acuan untuk analisa dan perhitungan.
2. *Identifikasi Spesifikasi Alat*
Pada proses ini, dilakukan pengukuran ulang pada oven sebelum di gambar menggunakan Auto Cad.
3. *Gambar Teknik*
Pada proses ini akan dilakukan desain alat yang akan di rancang untuk dijadikan prototype setelah melakukan pengukuran ulang spesifikasi dari oven.
4. *Analisis Perhitungan*
Proses penentuan model matematik dari oven, mekanik sistematis *range* berat daun kelor yang di keringkan , dan analisis laju aliran perpindahan panas untuk kestabilitan temperatur *output* yang diinginkan pada bahan material yang dipakai.
5. *Pembuatan Laporan Tugas Akhir*
Pembuatan laporan dilakukan setelah semua tahap terselesaikan sehingga hasil yang diperoleh dari pembuatan sistem dapat dijelaskan secara rinci sesuai dengan data-data yang diperoleh.

1.7 Sistematika Penulisan

Dalam tugas akhir ini agar alur pemikiran penulis dapat diikuti dan dipahami secara utuh maka disusunlah suatu kerangka penulisan yang bersifat umum, yaitu sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang permasalahan penyusunan , perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II : DASAR TEORI

Berisi teori-teori yang menunjang pelaksanaan penelitian dan perhitungan yang digunakan sebagai dasaran dalam analisis serta koreksi data yang telah diperoleh guna mencapai tujuan penelitian.

BAB III : METODOLOGI

Berisi tentang metode dan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam proses penelitian serta alat-alat yang dipergunakan dalam pelaksanaan pengujian baik alat utama maupun alat-alat penunjang dan juga berisi tentang prosedur-prosedur pengujian.

BAB IV : ANALISIS PERHITUNGAN

Berisi data-data hasil pengujian yang telah didapatkan dari proses penelitian dan proses perhitungan sampai menemukan hal apa yang menjadi tujuan dalam penelitian.

BAB V : KESIMPULAN

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini akan didapatkan suatu kesimpulan yang menyatakan pernyataan akhir dari uraian dan penjelasan sebelumnya dan berkaitan pada tujuan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

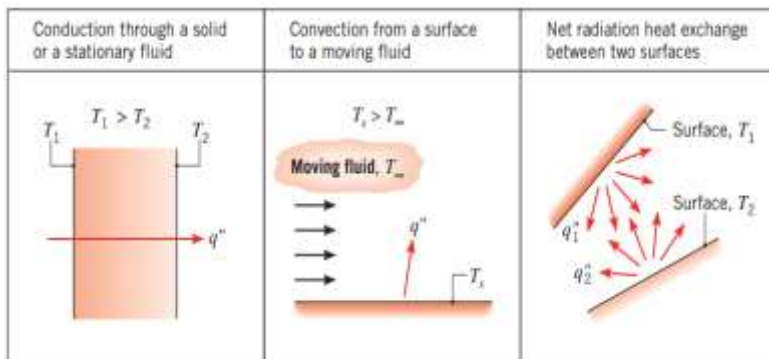
DASAR TEORI

2.1 Perpindahan Panas

Dalam termodinamika telah diketahui bahwa energi dapat ditransfer dengan adanya interaksi antara sistim dengan lingkungannya. Interaksi tersebut dapat berupa kerja atau kalor. Termodinamika hanya memfokuskan pada keadaan awal dan akhir proses, dan tidak memberikan informasi tentang laju perubahan properti yang berubah selama proses berlangsung. Pelajaran perpindahan panas bertujuan untuk mengembangkan analisis termodinamika tersebut dengan membeberkan mekanisme perpindahan panas, dan juga membangun formulasi untuk menghitung laju perpindahan panas (perpindahan panas per satuan waktu) atau biasa disebut fluks.

2.1.1 Pengertian Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah perpindahan energi panas/kalor sebagai akibat adanya perbedaan temperatur. Jadi berdasarkan definisi tersebut jika ada perbedaan temperatur antara dua media, perpindahan panas pasti terjadi. Gambar 2.1 memperlihatkan perbedaan cara perpindahan panas berdasarkan mekanismenya . Cara perpindahan panas tersebut disebut modes of heat transfer. Jika ada gradient temperatur pada media yang diam, baik pada benda padat ataupun liquid perpindahan panas yang terjadi disebut konduksi. Jika ada gradient temperatur antara benda padat dengan liquid yang mengalir disekitarnya perpindahan panas yang terjadi disebut konveksi.



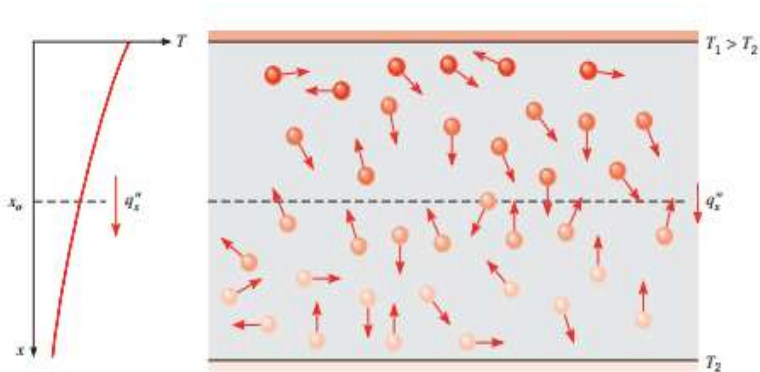
Gambar 2.1 Perpindahan panas konduksi, konveksi dan radiasi
(Sumber: Referensi [2] hal. 2)

Semua permukaan yang memiliki temperatur memancarkan energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik, sehingga ada atau tidak ada media perantara perpindahan panas pasti terjadi antara dua permukaan yang berbeda temperaturnya. Perpindahan panas yang demikian ini disebut radiasi.

2.1.2 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah perpindahan panas yang bergantung pada aktivitas pada level atom dan molekuler. Konduksi digambarkan sebagai perpindahan panas yang terjadi dari partikel yang berenergi lebih tinggi ke partikel yang berenergi lebih rendah dari suatu media sebagai akibat dari interaksi antar partikel tersebut.

Gambar 2.2 memperlihatkan mekanisme tersebut. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa partikel-partikel bergerak secara acak sehingga memungkinkan satu partikel bersinggungan dengan partikel yang lain. Sehingga apabila yang bersinggungan tersebut partikel yang berbeda tingkat energinya maka perpindahan panas pasti terjadi. Jika $T_1 > T_2$ maka akan terjadi perpindahan panas ke arah sumbu x positif. Karena perpindahan panas konduksi terjadi akibat gerakan acak partikel maka juga disebut difusi energi.



Gambar 2.2 Perpindahan panas konduksi dengan diffusi energi akibat aktivitas molekuler
(Sumber: Referensi [2] hal. 3)

Untuk menghitung laju perpindahan diperlukan persamaan yang sesuai dengan mode dari perpindahan panas tersebut. Persamaan laju perpindahan panas konduksi satu dimensi pada dinding datar dikenal dengan persamaan (hukum) Fourier. Pada gambar 2.2 jika $T_1 > T_2$ maka ada distribusi temperatur kearah sumbu x $T(x)$, persamaan laju perpindahan panas adalah:

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx}$$

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx}$$

dimana : q = laju perpindahan panas (W)

Keterangan :

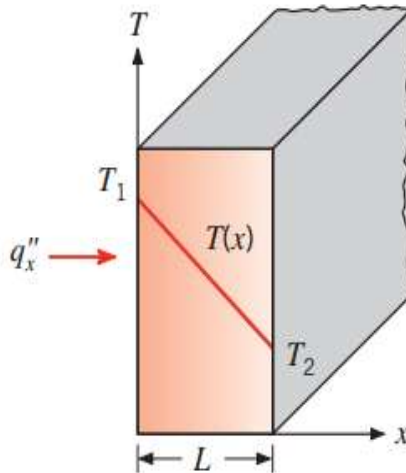
q_x'' : fluks panas (W/m^2) adalah laju perpindahan panas ke arah sumbu x positif per unit kuasan yang tegak lurus arah perpindahan panas.

$\frac{dT}{dx}$: gradient temperatur

k : konduktivitas panas ($W/m^\circ K$) adalah karakteristik individu material dinding

Tanda minus adalah konsekuensi bahwa panas berpindah dari lokasi yang bertemperatur tinggi ke yang lebih rendah. Jika distribusi temperatur linier maka:

$$q_x'' = -k \frac{T_2 - T_1}{L}$$



Gambar 2.3 Konduksi satu dimensi steady state
(Sumber: Referensi [2] hal. 4)

Dalam beberapa hal proses perpindahan panas secara konduksi bisa terjadi pada bentuk:

- Dinding Datar

Konduksi satu dimensi pada dinding datar, distribusi temperatur hanya ke arah satu sumbu saja misalnya sumbu x , sehingga perpindahan panas hanya terjadi ke arah sumbu x saja.

Panas berpindah secara konveksi dari udara di bagian dalam ke dinding dalam, kemudian dilanjutkan dengan konduksi dari dinding dalam ke dinding luar, lalu diteruskan lagi dengan konveksi dari dinding luar ke udara luar.

- Distribusi Temperatur

Distribusi temperatur pada dinding dapat diperoleh dengan menyelesaikan persamaan difusi panas berikut ini.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{dT}{dx} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{dT}{dy} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{dT}{dz} \right) + q''$$

Untuk konduksi satu dimensi kearah sumbu x dan tanpa ada pembangkitan panas maka:

$$\frac{d}{dx} \left(k \frac{dT}{dx} \right) = 0$$

Jika konduktivitas termal dinding dianggap konstan, lalu diintegrasikan dua kali maka didapat solusi:

$$T(x) = C_1 x + C_2$$

Konstanta C tersebut dicari dengan kondisi batas berikut ini:

$$T(x = 0) = T_1 \text{ dan } T(x = L) = T_2$$

Jadi :

$$T_1 = C_2 \text{ dan } T_2 = C_1 L + C_2 \text{ atau } T_2 = C_1 L + T_1$$

sehingga diperoleh :

$$C_1 = \frac{T_2 - T_1}{L}$$

Substitusi C_1 dan C_2 ke persamaan 1 dan 2 didapatkan :

$$T(x) = (T_2 - T_1) \frac{x}{L} + T_1$$

Fourier :

Untuk menghitung laju perpindahan panas digunakan hukum

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} = -\frac{kA}{L} (T_2 - T_1)$$

- Hambatan Termal

Untuk kasus perpindahan panas seperti tersebut diatas peristiwa difusi panas dianalogikan dengan aliran arus listrik dan hambatan listrik dianalogikan dengan hambatan perpindahan panas, serta beda potensial dianalogikan dengan beda temperatur.

$$R_{kond} = \frac{\Delta T}{q} = \frac{L}{kA}$$

Sebaliknya laju perpindahan panas dapat ditulis :

$$q_{kond} = \frac{\Delta T}{R_{kond}} = \frac{(T_2 - T_1)}{R_{kond}}$$

R_{kond} disebut hambatan perpindahan panas konduksi. Analisis yang sama jika diterapkan pada kasus konveksi, maka didapat hambatan perpindahan panas konveksi R_{konv} :

$$q = hA(T_s - T_\infty)$$

$$R_{konv} = \frac{\Delta T}{q} = \frac{1}{hA}$$

Dan laju perpindahan panas konveksi ditulis :

$$q_{konv} = \frac{\Delta T}{R_{konv}} = \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{konv}}$$

Dalam suatu rangkaian hambatan listrik arus yang mengalir di tiap-tiap hambatan sama, dan analoginya laju perpindahan panas pada tiap-tiap hambatan perpindahan panas juga sama, maka:

$$q_x = \frac{(T_{\infty 1} - T_1)}{\frac{1}{h_{\infty 1}}} = \frac{(T_2 - T_1)}{\frac{L}{kA}} = \frac{(T_2 - T_{\infty 2})}{\frac{1}{h_{\infty 1}}}$$

Dan juga dapat ditulis dalam bentuk beda temperatur total:

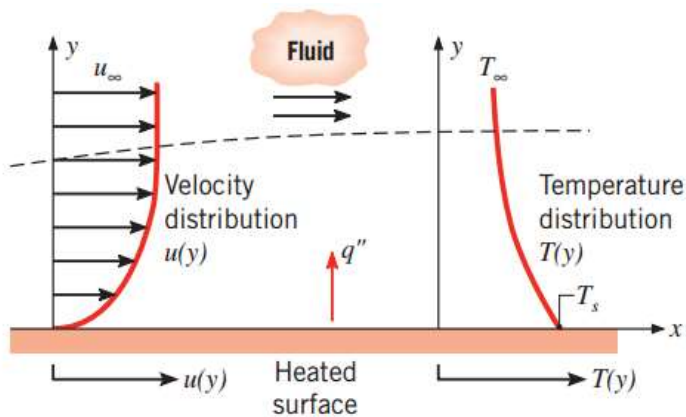
$$q_x = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{R_{tot}} = \frac{\Delta T}{R_{tot}}, \text{ dimana :}$$

$$R_{tot} = \frac{1}{h_{\infty 1}A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_{\infty 2}A}$$

R_{tot} disebut hambatan perpindahan panas keseluruhan (overall heat transfer resistant)

2.1.3 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi didukung oleh gerakan acak molekuler dan gerakan makroskopik dari fluida diantara permukaan dan lapisan batas. Kontribusi dari gerak acak molekuler (diffusi) biasanya lebih dominan di daerah dekat dengan permukaan padat dimana pada daerah tersebut kecepatan aliran makroskopiknya nol. Jadi pada daerah tersebut ($y=0$) panas dipindahkan melalui mekanisme gerak acak molekuler. Kontribusi dari gerakan makroskopik fluida, dimulai pada daerah dimana sudah terjadi pertumbuhan lapisan batas, yang artinya kecepatan aliran fluida (kearah sumbu x) meningkat sedikit lebih besar dari nol.



Gambar 2.4 Pertumbuhan lapisan batas pada perpindahan panas konveksi
(Sumber: Referensi [2] hal. 6)

Perpindahan panas konveksi juga dikategorikan berdasarkan penyebab terjadinya aliran fluida. Jika aliran fluida yang terjadi disebabkan oleh faktor eksternal seperti: pompa, fan/blower atau juga angin pada udara atmosfer maka perpindahan panas konveksi yang terjadi disebut konveksi paksa. (forced convection). Jika aliran fluida dihasilkan oleh tarikan gaya buoyancy yang dihasilkan oleh adanya variasi massa jenis fluida, (variasi massa jenis dihasilkan oleh adanya perbedaan temperatur antara satu lokasi dengan lokasi yang lain dalam satu wadah) maka disebut konveksi bebas atau konveksi alam.

Ditinjau dari gerakan fluidanya perpindahan panas konveksi secara umum dibedakan menjadi dua yaitu :

a. Konveksi Paksa

Disebut konveksi paksa (forced convection) apabila aliran yang terjadi ditimbulkan oleh beberapa peralatan bantu seperti blower, pompa, kompresor, dan lain-lain.

Konveksi alamiah (natural convection) adalah aliran fluida yang terjadi semata-mata karena adanya perbedaan massa jenis fluida yang disebabkan oleh perbedaan temperatur. Korelasi konveksi alamiah atau konveksi bahan ada dua yaitu :

- Korelasi Plat Vertical

Apabila plat itu dipanaskan, terbentuklah suatu lapisan batas konveksi bebas. Pada dinding kecepatan adalah nol, karena terdapat kondisi tanpa gelincir (no slip), kecepatan itu bertambah terus sampai mencapai nilai maksimum, dan kemudian menurun lagi hingga nol pada tepi lapisan batas, karena kondisi arus bebas. Perkembangan awal lapisan batas adalah laminar, tetapi pada sifat-sifat fluida dan beda suhu antara dinding dan lingkungan, terbentuklah pusaran-pusaran dari transisi ke lapisan turbulen.

Pada sistem konveksi bebas dapat dijumpai bilangan tak berdimensi yang disebut bilangan Grashof (Gr).

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2}$$

Dan Rayleigh Number (Ra_L)

$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha}$$

Dimana :

Pr = Bilangan Prandtl

g = Percepatan gravitasi, ($\frac{m}{s^2}$)

L = Panjang karakteristik, (m)

ν = Viskositas Kinematik, ($\frac{m^2}{s}$)

β = Koefisien Ekspansi Volume ($\frac{1}{T_f}$), (K^{-1})

α = Difusivitas Termal, ($\frac{m^2}{s}$)

Dimana semua properties dievaluasi pada temperatur film (Tf). Untuk menganalisa konveksi bebas pada plat datar harus ditentukan dulu harga koefisien perpindahan panas konveksi dan *Nusselt Number*.

- Untuk aliran laminar : $10^{-1} < Ra_L < 10^9$

$$\overline{Nu}_L = 0,68 + \frac{0,67 Ra_L^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(0,492/Pr\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}}$$

- Untuk aliran turbulen : $10^{-1} < Ra_L < 10^{12}$

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(0,492/Pr\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

Sehingga :

$$h = \frac{\overline{Nu}_L k}{L}$$

Dimana :

h = Koefisien perpindahan panas konveksi $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

\overline{Nu}_L = *Nusselt Number*

k = konduktifitas termal, $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$

L = Tinggi Dinding, (m)

- Korelasi pada Plat Horizontal
Nusselt Number rata-rata untuk konveksi bebas tergantung pada apakah permukaan plat panas menghadap ke atas (*hot surface facing up*) atau menghadap ke bawah (*hot surface facing down*) dan apakah permukaan plat lebih panas atau lebih dingin daripada fluida di sekitarnya.
- Untuk plat horizontal dengan permukaan panas menghadap ke atas (*hot surface facing up*)
 1. $\overline{Nu}_L = 0,54 Ra_L^{\frac{1}{4}}, (10^4 \leq Ra_L \leq 10^7)$
 2. $\overline{Nu}_L = 0,15 Ra_L^{\frac{1}{3}}, (10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11})$
- Untuk plat horizontal dengan permukaan panas menghadap ke bawah (*hot surface facing down*)
- $\overline{Nu}_L = 0,27 Ra_L^{\frac{1}{4}}, (10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10})$

Sehingga :

$$h = \frac{\overline{Nu}_L k}{L}$$

Dimana :

h = Koefisien perpindahan panas konveksi, $\left(\frac{W}{m^2 \circ K}\right)$

\overline{Nu}_L = Nusselt Number

k = Konduktivitas Termal, $\left(\frac{W}{m \circ K}\right)$

L = Panjang karakteristik, (m)

Panjang karakteristik pada plat horizontal dapat diambil sebagai panjang sisi untuk persegi, setengah lebar plat untuk plat persegi panjang dan $0,9 D$ untuk cakram bola dengan diameter D .

$$L = \frac{A}{P} = \frac{w}{2}$$

Dimana :

L = Panjang karakteristik, (m)

A = Luas permukaan plat, (m^2)

P = Keliling Plat (perimeter), (m)

w = Lebar dinding, (m)

Laju perpindahan panas konveksi dicari dengan hukum pendinginan Newton, yaitu :

$$q = hA(T_s - T_\infty)$$

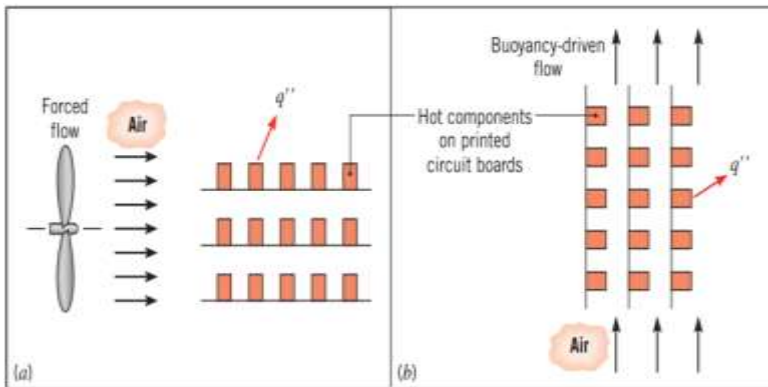
Dimana :

q = Laju perpindahan panas konveksi, (W)

h = Koefisien perpindahan panas konveksi, $\left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}\right)$

T_s = Temperatur permukaan, ($^\circ C$)

T_∞ = Temperatur Fluida, ($^\circ C$)



Gambar 2.5 Perpindahan Panas Konveksi

(Sumber: Referensi [2] hal. 7)

Dalam analisis perpindahan panas konveksi maka faktor utama yang harus ditentukan : koefisien perpindahan panas konveksi akan bergantung dari medan aliran yaitu bilangan Reynold (Re) dan bilangan Prandtl (Pr) selain dari bentuk lintasannya.

Bilangan Reynold (Re) merupakan suatu perbandingan antara gaya inersia dengan gaya gesek dari fluida tersebut yang besarnya adalah :

$$Re = \frac{VL}{\nu}$$

Dimana :

V = Kecepatan Fluida, $\left(\frac{m}{s}\right)$

L = Panjang lintasan, (m)

ν = Viskositas kinematik, $\frac{m^2}{s}$

Bilangan Prandtl (Pr) adalah suatu parameter yang menunjukkan perbandingan antara viskositas kinematik dan difusifitas termal dari fluida. Viskositas kinematik fluida

memberikan informasi tentang laju difusi momentum dalam fluida karena gerak molekul, difusi termal memberikan informasi tentang hal yang serupa mengenai difusi panas dalam fluida. Jadi perbandingan antara kedua kuantitas itu menunjukkan besaran relatif antara difusi momentum dan difusi kalor di dalam fluida. Besarnya bilangan Prandtl adalah :

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu}{\rho} \frac{\rho C_p}{k} = \frac{C_p \mu}{k}$$

Dimana :

ν = Viskositas kinematik, $\left(\frac{m^2}{s}\right)$

C_p = Konstanta pans spesifik pada tekanan konstan, $\left(\frac{J}{kg^\circ K}\right)$

ρ = Density fluida, $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

k = Konduktivitas Panas Fluida, $\left(\frac{W}{m^\circ K}\right)$

μ = Viskositas Absolute, $\left(\frac{kg}{s.m}\right)$

Untuk menentukan koefisien perpindahan panas konveksi digunakan bilangan Nusselt yang didapat dari percobaan/analisis. Bilangan Nusselt didefinisikan sebagai :

$$\overline{Nu}_L = \frac{\bar{h}L}{K_f}$$

Dimana :

\overline{Nu}_L = Bilangan Nusselt

\bar{h} = Koefisien Perpindahan Panas Konveksi, $\left(\frac{W}{m^2^\circ K}\right)$

K_f = Konduktifitas Fluida, $\left(\frac{W}{m^\circ K}\right)$

Bilangan Nusselt merupakan fungsi dari medan aliran yaitu bilangan Reynold (Re) dan bilangan Prandtl (Pr). Hubungan antara Nu_L dengan Re dan Pr tergantung dari bentuk aliran dan lintasan.

Hubungan ini biasanya didapat dengan percobaan, misalnya :

- Untuk aliran laminar melintasi plat datar

$$\overline{Nu}_L = 0,664 Re^{\frac{1}{2}} \times Pr^{\frac{1}{3}}$$

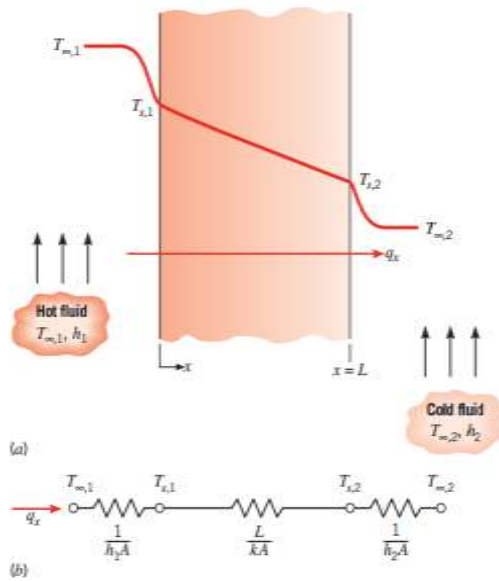
- Untuk aliran turbulen melintasi plat datar

$$\overline{Nu}_L = 0,0296 Re^{\frac{4}{5}} \times Pr^{\frac{1}{3}}$$

2.1.4 Perpindahan Panas Gabungan

Di dalam praktek perpindahan panas yang terjadi tidak hanya dalam satu mekanisme saja melainkan terjadi secara gabungan antara konduksi, konveksi, dan radiasi maupun ketiga mekanisme tersebut.

Perpindahan panas gabungan antara konduksi dengan konveksi seperti gambar di bawah ini akan lebih mudah menentukannya jika dengan menggunakan metode thermal resistant (R). Karena dengan tanpa mengetahui temperatur permukaan benda ($T_{s,1}$ dan $T_{s,2}$) besarnya perpindahan panas dapat diketahui.



Gambar 2.6 Perpindahan panas antara konduksi dengan konveksi
(Sumber: Referensi [2] hal. 113)

Maka laju perpindahan panas :

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{R_{tot}}$$

$$R_{tot} = \frac{1}{h_1 A} + \frac{1}{k A} + \frac{1}{h_2 A}$$

Dimana :

R_{tot} = tahanan total panas, $\left(\frac{^{\circ}K}{W}\right)$

$T_{\infty,1}$ = temperatur fluida 1, ($^{\circ}C$)

$T_{\infty,2}$ = temperatur fluida 2, ($^{\circ}C$)

h_1 = koefisien konveksi fluida 1, $\left(\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}K}\right)$

h_2 = koefisien konveksi fluida 2, $\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}K}$

A = Luas permukaan perpindahan panas, (m^2)

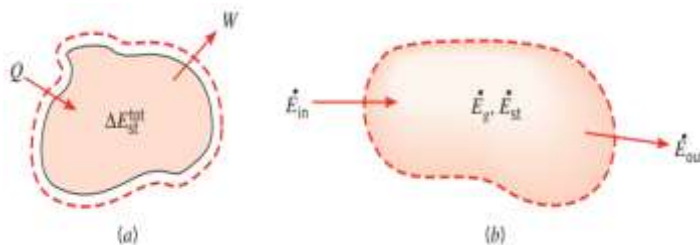
2.2 Kekekalan Energi

Analisis perpindahan panas merupakan perluasan dari termodinamika yang memperhatikan laju perpindahan energi. Selanjutnya dalam menganalisis perpindahan panas Hukum I Termodinamika (hukum kekekalan energi) memegang peranan penting dalam melakukan analisis.

2.2.1 Kekekalan Energi Volume Atur

Dalam menganalisis perpindahan panas perlu melakukan identifikasi volume atur yaitu melakukan pembatasan terhadap daerah yang dilalui energi/material dengan mengacu pada hukum I termodinamika, maka kekekalan energi volume atur dapat didefinisikan sebagai :

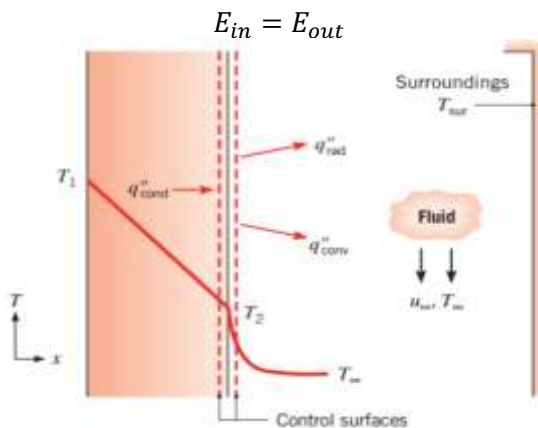
Laju energi termal dan mekanika yang memasuki volume atur dikurangi dengan laju energi yang meninggalkan volume atur sama dengan energi yang tersimpan di dalam volume atur.



Gambar 2.7 Kekekalan energi volume atur
(Sumber: Referensi [2] hal. 13)

2.2.2 Kestimbangan Energi Permukaan

Pada kasus khusus dimana permukaan atur tidak mempunyai massa/volume dan tidak berhubungan dengan energi bangkitan, serta syarat kekekalan energi berlaku untuk keadaan tunak (*steady state*) dan kondisi transisi (*transient*), maka :



Gambar 2.8 Kekekalan energi permukaan sebuah media
(Sumber: Referensi [2] hal. 27)

Pada gambar di atas ditunjukkan tiga bentuk perpindahan panas permukaan atur dengan basis persatuan luas. Ketiga bentuk tersebut adalah konduksi dari media ke permukaan luar, konveksi dari permukaan ke fluida, dan pertukaan radiasi netto dari

permukaan ke sekeliling. Sehingga kesetimbangan energi gambar di atas :

$$q''_{konduksi} - q''_{konveksi} - q''_{radiasi} = 0$$

2.3 Perpindahan Panas Kalor Sensibel dan Kalor Laten

Kalor adalah salah satu bentuk energi. Jika suatu zat menerima atau melepaskan kalor, maka ada dua kemungkinan yang akan terjadi. Yang pertama adalah terjadinya perubahan temperatur dari zat tersebut, kalor yang seperti ini disebut dengan kalor sensibel (*sensible heat*). Dan yang kedua adalah terjadi perubahan fase zat, kalor jenis ini disebut dengan kalor laten (*latent heat*).

2.3.1 Kalor Sensibel (*Sensible Heat*)

Apabila suatu zat menerima kalor sensibel maka akan mengalami peningkatan temperatur, namun jika zat tersebut melepaskan kalor sensibel maka akan mengalami penurunan temperatur.

Persamaan kalor sensibel adalah sebagai berikut :

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Dimana :

Q = Energi kalor yang dilepas atau diterima suatu zat (J)

m = Massa zat yang mengalami perubahan temperatur (kg)

C_p = Kalor jenis zat ($\frac{J}{kg.K}$)

ΔT = Perubahan temperatur yang terjadi (K)

2.3.2 Kalor Laten (*Latent Heat*)

Jika suatu zat menerima atau melepaskan kalor, pada awalnya akan terjadi perubahan temperatur, namun demikian hal tersebut suatu saat akan mencapai keadaan jenuhnya dan

menyebabkan perubahan fase. Kalor yang demikian itu disebut sebagai kalor laten. Pada suatu zat terdapat dua macam kalor laten, yaitu kalor laten peleburan atau pembekuan dan kalor laten penguapan atau pengembunan. Kalor laten suatu zat biasanya lebih besar dari kalor sensibelnya, hal ini karena diperlukan energi yang besar untuk merubah fase suatu zat.

Secara Umum kalor laten yang digunakan untuk merubah fase suatu zat dirumuskan dengan :

$$Q = m \cdot h_l$$

Dimana :

Q = Energi kalor yang dilepas atau diterim suatu zat (J)

h_l = Kalor Laten $\frac{kJ}{kg}$

Jika udara mengalir melewati suatu permukaan basah, akan terjadi perpindahan kalor sensibel dan kalor laten secara bersamaan. Bila terdapat perbedaan suhu antara udara dan permukaan basah tersebut akan terjadi perpindahan kalor sensibel dan kalor laten secara bersamaan. Bila terdapat perbedaan suhu antara permukaan basah tersebut maka kalor akan dipindahkan. Bila terdapat pada temperatur antara tekanan parsial uap air di udara dan tekanan parsial uap air pada permukaan basah, maka akan terjadi perpindahan massa uap air. Perpindahan massa ini menyebabkan perpindahan panas juga, karena pada saat air mengembun, kalor laten harus dikeluarkan dari air tersebut. Sebaliknya jika sejumlah cairan menguap dari lapisan permukaan basah, maka harus diberikan kalor penguapan pada air tersebut.

2.4 Proses Pengeringan

Pengeringan merupakan proses pemindahan panas dan uap air secara simultan, yang memerlukan energi panas untuk menguapkan kandungan air yang dipindahkan dari permukaan

bahan, yang dikeringkan oleh media pengering yang biasanya berupa panas.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengeringan ada 2 golongan, yaitu:

1) Faktor yang berhubungan dengan udara pengering

Yang termasuk dalam golongan ini adalah suhu, kecepatan volumetrik aliran udara pengering, dan kelembaban udara.

2) Faktor yang berhubungan dengan sifat bahan yang dikeringkan

Yang termasuk dalam golongan ini adalah ukuran bahan, kadar air awal, dan tekanan parsial dalam bahan.

Pada pengeringan mekanis ini, memerlukan energi untuk memanaskan alat pengering, mengimbangi radiasi panas yang keluar dari alat, memanaskan bahan, menguapkan air bahan serta menggerakkan udara. Semakin tinggi suhu yang digunakan untuk pengeringan maka makin tinggi pula energi yang disuplai dan makin cepat pula laju pengeringannya. Akan tetapi, pengeringan yang terlalu cepat kering. Sehingga tidak sebanding dengan kecepatan pengeringan air bahan ke permukaan bahan. Hal ini menyebabkan pengerasan pada permukaan bahan (*hardening*). Selanjutnya air dalam bahan tidak dapat lagi menguap karena terhalangi permukaan bahan yang telah kering. Disamping itu pula penggunaan suhu yang terlalu tinggi dapat merusak bahan.

Proses pengeringan mekanis dapat dilakukan dengan dua metode yaitu :

1. Pengeringan langsung/konveksi adalah bahan dikeringkan dengan cara mengeluarkan udara pengering melewati bahan
2. Pengeringan tidak langsung/konduksi adalah dinding panas yang bersentuhan dengan bahan yang akan dikeringkan secara konduksi.

Peristiwa yang terjadi selama pengeringan meliputi dua proses yaitu :

- Perpindahan panas dari luar ke bahan
- Perpindahan massa air dari permukaan bahan ke udara dan dari dalam bahan ke permukaan.

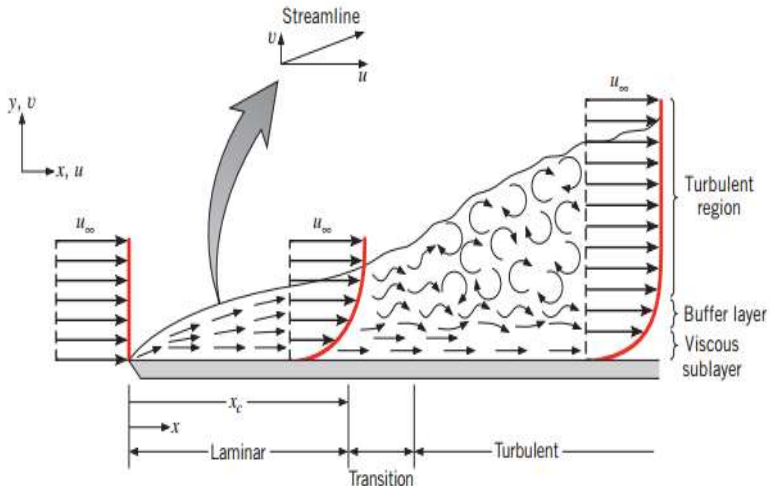
Proses perpindahan panas terjadi karena suhu lebih melewati permukaan bahan secara konveksi ataupun oleh dinding

panas secara konduksi dan panas ini akan menaikkan suhu permukaan dan menaikkan tekanan uap air permukaan. Sehingga terjadi perpindahan dalam bentuk uap air di dalam bahan berada dalam kesetimbangan dengan tekanan uap air di udara sekitar. Pada saat pengeringan dimulai, panas diberikan ke bahan akan menaikkan tekanan uap air terutama sejalan dengan kenaikan suhunya.

Pada saat proses ini terjadi perpindahan massa dari bahan ke udara dalam bentuk uap air sehingga terjadi pengeringan pada permukaan bahan. Setelah itu tekanan uap air pada permukaan bahan akan menurun setelah kenaikan suhu terjadi pada seluruh bahan. Maka terjadi pergerakan air secara difusi dari dalam bahan ke permukaan bahan diulangi lagi. Akhirnya setelah air bahan berkurang, tekanan uap air bahan menurun sampai terjadi kesetimbangan dengan udara sekitarnya.

2.5 Aliran Laminer dan Turbulen

Dalam memperlakukan setiap persoalan konveksi, langkah pertama yang diambil adalah menentukan aliran tersebut laminer atau turbulen. Gesekan permukaan dan laju perbedaan konveksi sangat tergantung pada keberadaan kondisi tersebut. Seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini, ada perbedaan tajam antara kondisi laminer dan turbulen. Pada batas laminer, pergerakan fluida sangat teratur dan memungkinkan untuk mengidentifikasi partikel-partikel memanjang pada garis *streamline*.



Gambar 2.9 lapisan batas kecepatan pada plat datar
(Sumber: Referensi [2] hal. 3)

Pergerakan fluida memanjang garis streamline dikarakteristikan oleh komponen kecepatan pada kedua arah x dan y . Karena komponen kecepatan V adalah normal pada permukaan, maka komponen tersebut dapat memberikan kontribusi yang cukup pada perpindahan momentum, energi, dan spesies melalui lapisan batas. Perpindahan fluida normal pada permukaan adalah diperlukan oleh pertumbuhan lapisan batas pada arah x .

Berbeda dengan pergerakan fluida pada lapisan batas turbulen yang sangat tidak teratur dan dikarakteristik oleh fluktuasi kecepatan. Fluktuasi ini menambah perpindahan momentum, energi, dan spesies. Karena itu menambah laju perpindahan konveksi. Sebagai akibat hasil pencampuran dari fluktuasi, ketebalan lapisan batas turbulen adalah lebih besar dari profil lapisan batas kecepatan, lapisan batas temperatur, dan lapisan batas konsentrasi. Adalah lebih datar daripada lapisan laminar.

Kondisi ini digambarkan secara skematis pada gambar 2.9 untuk pengembangan lapisan batas pada plat datar. Lapisan

batas mula-mula laminar, tetapi untuk suatu jarak dari ujung, transisi ke aliran turbulen mulai terjadi fluktuasi fluida untuk berkembang pada daerah transisi dan lapisan batas akhirnya menjadi turbulen penuh. Perpindahan menjadi turbulen diikuti oleh kenaikan yang cukup berarti pada ketebalan lapisan batas, tahanan geser dinding, dan koefisien konveksi.

Penentuan aliran fluida dapat ditentukan oleh bilangan Reynold untuk aliran internal dan eksternal, untuk aliran bebas menggunakan bilangan Rayleigh. Untuk aliran eksternal, bila bilangan Reynold $< 5 \times 10^5$ disebut aliran laminar, $5 \times 10^5 < Re < 5 \times 10^8$ disebut aliran transisi dan $Re > 5 \times 10^8$ disebut aliran turbulen. Untuk aliran internal, bila bilangan Reynold < 2300 disebut laminar. Jika lebih dari 4000 disebut turbulen. Dan bila berada diantara 2300 sampai 4000 termasuk transisi. Untuk aliran bebas ditentukan oleh Rayleigh Number. Aliran fluida termasuk laminar jika $10^4 \leq Ra_L \leq 10^9$ dan tergolong turbulen jika $10^9 \leq Ra_L \leq 10^{13}$.

2.6 Daun Kelor (*Moringa Oleifera*)



Gambar 2.10 Daun Kelor
(Sumber: Referensi [5] hal.11)

Kelor atau merunggai (*Moringa oleifera*) adalah sejenis tumbuhan dari suku Moringaceae. Tumbuhan ini memiliki ketinggian batang 7—11 meter. Daun kelor berbentuk bulat telur

dengan ukuran kecil-kecil bersusun majemuk dalam satu tangkai, dapat dibuat sayur atau obat. Bunganya berwarna putih kekuning-kuningan dan tudung pelepah bunganya berwarna hijau; bunga ini keluar sepanjang tahun dengan aroma bau semerbak. Buah kelor berbentuk segitiga memanjang yang disebut kelentang, juga dapat disayur.

Tanaman Kelor (*Moringa Oleifera*) merupakan salah satu dari sekian banyak tanaman yang dimanfaatkan sifat fungsionalitasnya dalam menjaga kesehatan manusia serta sebagai obat untuk mengatasi berbagai penyakit.

Hampir dari seluruh bagian tanaman kelor memiliki nutrisi yang cukup tinggi dan khusus untuk daun serbuk kelor sendiri terdapat berbagai macam vitamin dan asam amino esensial yang berguna untuk mencegah radikal bebas.

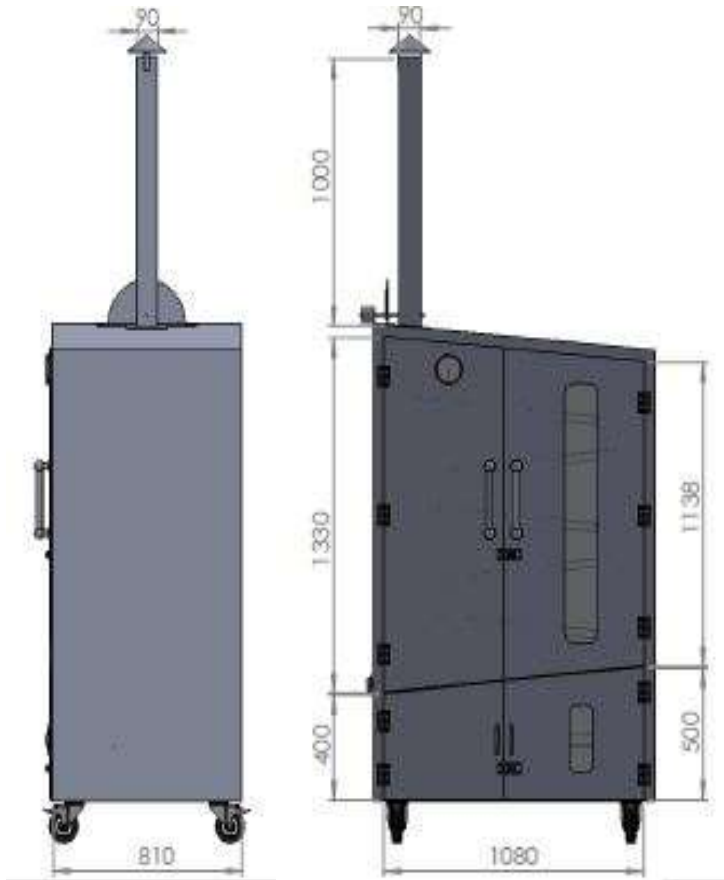
Khasiatnya yang dapat menyembuhkan berbagai penyakit yaitu untuk mengobati penyakit degeneratif seperti diabetes, tumor, dan hipertensi pada manusia mendorong banyak peneliti untuk melakukan penelitian tentang kandungan dari tanaman kelor dan berbagai produk olahan dari mengkudu berkembang sangat pesat. Salah satu usaha lain untuk meningkatkan nilai dari daun kelor ialah dengan memanfaatkannya menjadi serbuk obat kapsul.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

3.1 Fiksasi Desain Alat dan Dimensi Alat

Berikut ini adalah desain 2D dari model oven :



Gambar 3.1 Gambar Tampak Depan dan Samping Oven
Pengering Daun Kelor



Gambar 3.2 Gambar Penampang Rak dan Ruang Bakar Oven Pengering Daun Kelor

➤ Berikut ini spesifikasi dimensi dari oven :

- Dimensi model oven
 - Panjang = 117 cm = 11,7 m
 - Lebar = 81 cm = 0,81 m
 - Tinggi = 177,5 cm = 1,775m
- Ukuran cerobong
 - Panjang = 9 cm = 0,09m
 - Lebar = 9 cm = 0,09m
 - Tinggi = 100 cm = 1 m
 - $A_v = (0,09 \times 0,09)m^2 = 0,0081m^2$
- Data rak dan bak penampung
 - Panjang = 89,5cm = 0,895m
 - Lebar = 50cm = 0,5m

3.2 Diagram Alir Tugas Akhir

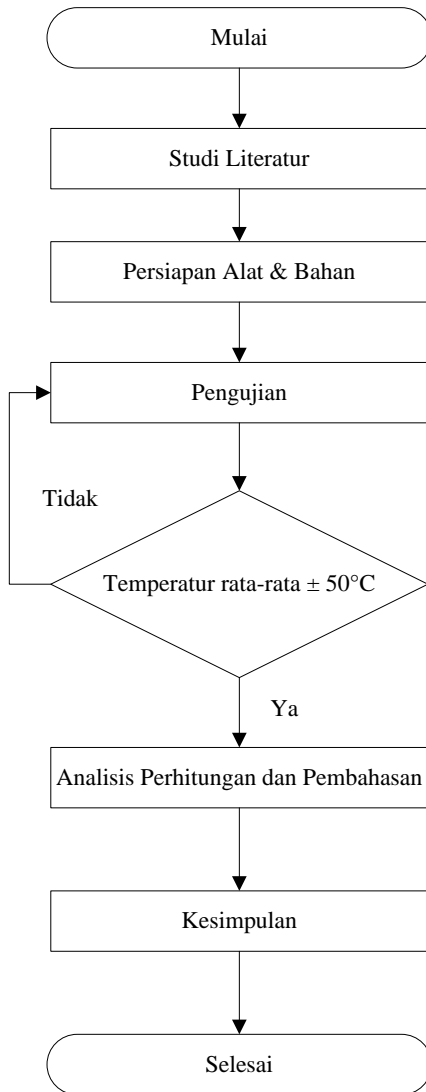
Untuk selengkapnya langkah-langkah yang ditempuh penulis dalam penulisan dan penyusunan tugas akhir ini dapat dilihat dari diagram alir berikut ini :

3.2.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

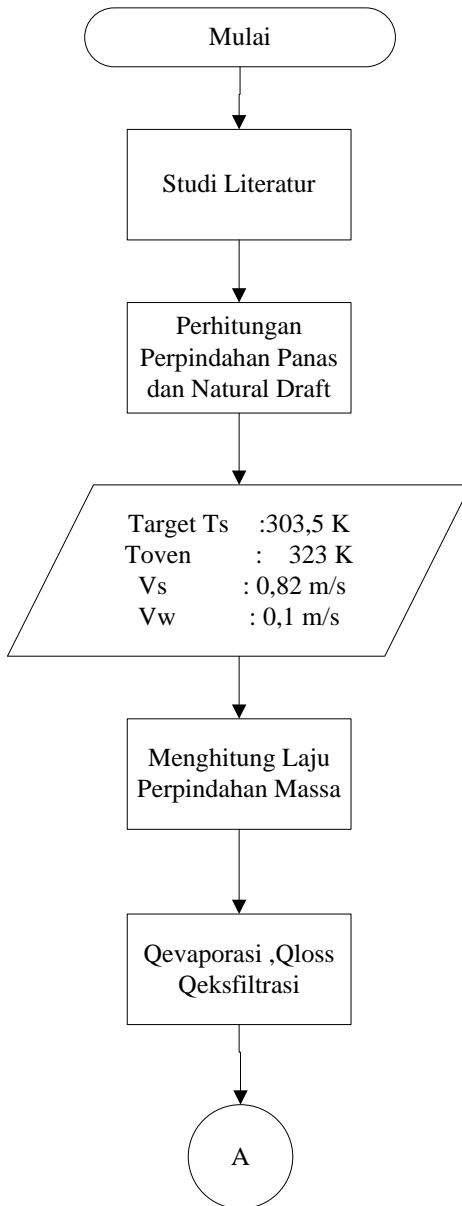
Pada pembahasan sub bab ini akan digambarkan mengenai alur proses pembuatan Tugas Akhir perencanaan ulang oven pengering Daun Kelor.

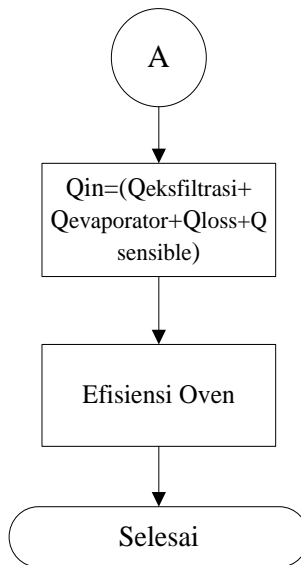
3.2.2 Diagram Alir Perhitungan Sistem

Pada pembahasan sub bab ini akan digambarkan mengenai alur perhitungan sistem oven sehingga dihasilkan laju perpindahan panas yang diinginkan di ruang oven.



Gambar 3.3 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir





Gambar 3.4 Diagram Alir Perhitungan Tugas Akhir

3.3 Prosedur Percobaan/Pengujian

3.3.1 Pengujian

Sebelum melakukan pengujian daun kelor, batang daun terlebih dahulu dibuang karna memang tidak digunakan. Setelah itu daun - daun tersebut diratakan di lima rak yang tersedia, ditata secara acak yang penting tidak saling menumpuk antar daun. Selanjutnya mencolokkan steker ke stop kontak dan menaikkan tuas ON lalu menaikkan temperatur oven hingga 50 C. Setelah daun kelor kering, turunkan tuas ke posisi OFF.



Gambar 3.5 Ruang Pemanas

3.3.2 Peralatan Ukur Untuk Pengujian

Dalam pengambilan data – data saat pengujian dibutuhkan beberapa peralatan ukur, diantaranya :

1. Thermometer, alat yang digunakan untuk mengukur temperatur ruangan dalam oven. Thermometer yang digunakan dapat mengukur dari 0 hingga 300 °C dengan



Gambar 3.6 Thermometer

2. Anemometer, alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan aliran udara yang keluar dari

dalam pengering ke udara bebas melalui cerobong udara di bagian atas oven. Selain itu dapat mengukur temperatur udara yang melewatinya. Anemometer yang digunakan dapat mengukur kecepatan dan temperatur dengan ketelitian 0,1.



Gambar 3.7 Anemometer

3. Timbangan, alat yang digunakan untuk mengukur berat bahan baik bahan sebelum pengeringan maupun bahan setelah menjadi kering, sehingga dapat menghitung persentase hilangnya kandungan air dari sebelum pengeringan sehingga menjadi bahan kering. Timbangan digital yang digunakan dapat mengukur 0,005 kg hingga 30kg.



Gambar 3.8 Timbangan Digital

4. Higrometer, alat yang digunakan untuk mengetahui persentase Relative Humidity (RH) dan temperatur basah ruangan. Higrometer yang digunakan dapat mengukur temperatur basah -50 – 70 °C dan persentase Relative Humidity (RH) dari 25 hingga 100 %.



Gambar 3.9 Hygrometer

5. Tachometer, alat yang digunakan untuk mengukur temperatur sama halnya dengan termometer namun alat ini lebih praktis. Cara kerja alat ini adalah tinggal menekan tombol dan mengarahkan laser pada bidang yang ingin diukur temperaturnya, kemudian di layar panel akan keluar nilai temperaturnya. Alat ini digunakan untuk mengukur temperatur permukaan daun mengkudu dan temperatur permukaan oven bagian dalam ataupun luar. Alat ini memiliki ketelitian 1 °C.



Gambar 3.10 Tachometer

3.4 Tata Cara Pengujian

Untuk melakukan suatu pengujian, dilakukan beberapa tahap pengujian di antaranya:

3.4.1 Tahap Persiapan

1. Mempersiapkan bahan yang akan dikeringkan, yaitu daun kelor yang telah dihilangkan batang daunnya.
2. Menimbang berat awal dari daun kelor sebelum dikeringkan.
3. Mengatur letak dari daun kelor pada rak agar tidak menumpuk beberapa bagian.
4. Menghubungkan kabel ke sumber listrik.
5. Memastikan oven telah menyala pada control box.
6. Menyiapkan seluruh alat ukur yang nantinya akan digunakan saat pengambilan data.
7. Meletakkan thermometer di rak agar dapat mengukur temperatur udara di dalam oven tiap tingkatan raknya.
8. Mengatur temperatur oven agar tetap pada temperatur yang diinginkan,

3.4.2 Tahap Pengambilan Data

Dalam setiap pengujian yang penulis lakukan, yang menjadi patokan dalam mencari data – data adalah dengan patokan temperatur. Setelah di dapat temperatur rata – rata barulah pengambilan data dilakukan. Data – data tersebut diambil pada waktu interval tertentu. Kemudian untuk setiap pengujian yang perlu dicatat antara lain:

- Berat daun kelor total sebelum dan sesudah pengujian
- Kecepatan aliran dan temperatur udara pada cerobong
- Temperatur permukaan daun kelor di dalam oven
- Temperatur permukaan dinding oven luar maupun dalam
- Temperatur ruangan dalam oven
- Temperatur permukaan dinding luar dan dalam ruang bakar
- Persentase Relative Humidity (RH) di dalam dan diluar oven
- Durasi pengujian yang digunakan sampai daun kelor menjadi kering

3.4.3 Tahap Setelah Pengujian

Tahapan ini yaitu membersihkan dan merapikan peralatan pengujian agar siap untuk digunakan kembali saat pengujian selanjutnya, diantaranya:

- Membersihkan oven dari sisa – sisa hasil pengujian sebelumnya
- Mematikan tuas oven pada control box
- Melepas kabel oven dari sumber listrik
- Mengemas dan menandai hasil pengujian agar tidak tertukar
- Merapikan seluruh alat ukur yang telah digunakan
- Membersihkan lingkungan sekitar tempat pengujian

3.4.4 Tahap Pengolahan Data

Setelah dilakukan pengujian dan diperoleh data – data dari hasil pengujian, kemudian dilakukan beberapa pengolahan data yang dimasukkan dalam suatu perhitungan di antaranya:

1. Menghitung panas yang masuk ke dalam sistem pengeringan (Q_{in}).
2. Menghitung kerugian panas (Q_{loss}) yang keluar menembus dinding dari oven selama proses pengeringan bahan
3. Menghitung energi kalor yang berguna untuk memanaskan oven hingga temperatur yang diinginkan. ($Q_{sensible}$).
4. Menghitung besar panas yang keluar dari pengering melalui cerobong (Q_{out}).
5. Menghitung besar panas untuk menghilangkan kadar air daun kelor (Q_{evap}).
6. Menghitung waktu pengeringan daun kelor dari awal pengujian hingga kering atau akhir dari pengujian.
7. Menghitung persentase pengurangan berat daun kelor setelah dikeringkan.

BAB IV ANALISIS PERHITUNGAN

4.1 Data Spesifikasi Alat

Beberapa data yang diperlukan untuk melakukan analisis adalah sebagai berikut:

- Dimensi model oven
 - Panjang = 117 cm = 11,7 m
 - Lebar = 81 cm = 0,81 m
 - Tinggi = 177,5 cm = 1,775 m
- Ukuran cerobong
 - Panjang = 9 cm = 0,09 m
 - Lebar = 9 cm = 0,09 m
 - Tinggi = 100 cm = 1 m
 - $A_{\text{ventilasiudara}} = (0,09 \times 0,09) m^2 = 0,0081 m^2$
- Data dinding
 - » Bahan Dinding
 1. Aluminium
 - Tebal (L_1) = 0,15 cm = 0,0015 m
 - Konduktivitas termal (k_1) = 237 W/m^{°K}
 2. Glass Wool (*cellular glass*)
 - Tebal (L_2) = 3 cm = 0,03 m
 - Konduktivitas termal (k_2) = 0,058 W/m^{°K}
 3. Galvalume (depan)
 - Tebal (L_3) = 0,1 cm = 0,001 m
 - Konduktivitas termal (k_3) = 166 W/m^{°K}

- » Luas permukaan dinding
 1. bagian depan tanpa kaca $(A_1) = 1,253 \text{ m}^2$
 2. bagian kaca depan $(A_2) = 0,132 \text{ m}^2$
 3. bagian kanan $(A_3) = 1,442 \text{ m}^2$
 4. bagian kiri $(A_4) = 1,33 \text{ m}^2$
 5. bagian atas $(A_5) = 0,95 \text{ m}^2$
 6. bagian belakang $(A_6=A_1+A_2) = 1,385 \text{ m}^2$

- Data rak dan bak penampung

Panjang	=	89 cm	=	0,89 m
Lebar	=	71,5 cm	=	0,715 m
Pegangan Rak	=	10,5 cm	=	0,015 m

- Data Bahan (Daun Kelor)
 Daun Kelor basah yang telah dipisahkan dari batangnya dengan berat 350 gram dengan temperatur 50 °C.

Tabel 4.1 Data pengukuran bahan

Massa	Daun (Kg)	Waktu (jam)
Awal	0,35	10.00
Akhir	0,13	15.00
Total	0,22 Kg	5 jam

- Dimana beban produk tiap rak = $\frac{350 \text{ gram}}{5 \text{ rak}} = \frac{70 \text{ gram}}{\text{rak}}$

Tabel 4.2 Data pengukuran dalam oven

properties rak ke-	Tdaun (°C)	Toven (°C)	RH (%)	Tcerobong (°C)	Vcerobong ($\frac{m}{s}$)
1	41	44	67	42	0,82
2	45	48			
3	46	47			
4	47	50			
5	48	46			
Rata-rata	45,4°C 318,4°K	47°C 320°K	67%	42°C 315°K	0,82 m/s

Tabel 4.3 Pengukuran surface dalam dan luar oven

Bagian	Tsurface(°C)		T ∞ (°C)		RH (%)	T ruang bakar (°C)		
	Luar	Dalam	Luar	Dalam		Luar	Dalam	T ∞
Depan	32	47	31	43	73	34	60	58
Belakang	34	44				38	63	
Kiri	31	47				37	61	
Kanan	31	46				35	54	
Rata-rata	32°C 305°K	46°C 319°K	31°C 304°K	43°C 316°K	73%	36°C 309°K	59,5°C 332,5°K	58°C 331°K

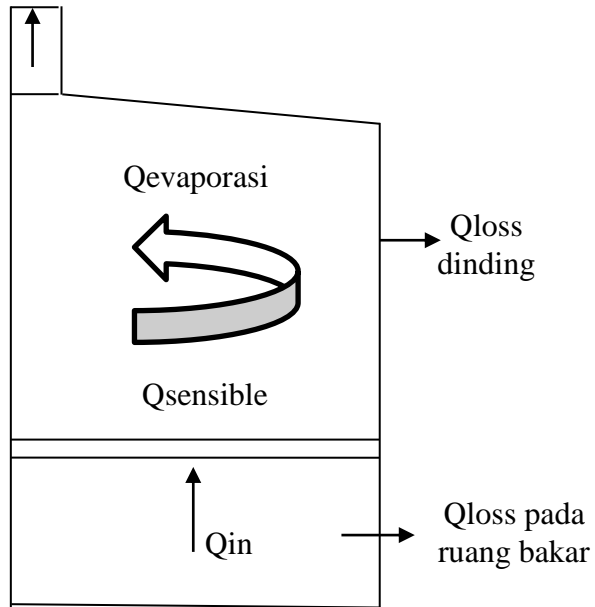
- L karakteristik pada dinding vertikal,diasumsikan sebagai panjang tertinggi pada tiap dinding oven, jadi:
L depan, belakang, kanan = 1,775 m
L kiri = 1,683 m

- L karakteristik pada dinding horizontal , menggunakan rumus

$$L = \frac{4A}{P} = \frac{4 \times (1,17m \times 0,81 m)}{2 \times (1,17+0,81)m} = 0,9572 m$$

4.2 Neraca Kalor Proses Pengeringan Dengan Oven

Qeksfiltrasi



$$Q_{in} = Q_{out}$$

$$Q_{in} = Q_{evaporasi} + Q_{loss \text{ dinding (eksfiltrasi)}} + Q_{loss \text{ ruang bakar}} + Q_{out} + Q_{sensible}$$

4.3 Perhitungan Laju Perpindahan Panas yang Dibutuhkan di Ruang Oven

Berikut adalah perhitungan untuk menentukan Q_{storage} pada ruang oven, yang didapat berdasarkan teori keseimbangan energi yaitu, $Q_{\text{in}} = Q_{\text{out}}$. Dan dalam rancang bangun tugas akhir ini yang merupakan indikator Q_{in} ialah panas yang dihasilkan dari oven, sedangkan indikator dari Q_{out} ialah $Q_{\text{evaporator}}$, $Q_{\text{loss total}}$, $Q_{\text{eksfiltrasi}}$ & Q_{sensible} .

4.3.1 Perhitungan Q_{loss} (W) pada jenis material yang digunakan

Material yang digunakan ialah plat galvalume dan celluler glass sebagai isolatornya. Berikut adalah proses perhitungan untuk mencari Q_{loss} pada jenis material yang digunakan. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan pendekatan *External Flow*.

- **Bagian Dalam**

- Temperatur rata-rata antara temperatur ruangan oven dan temperatur *surface plate* bagian kanan, depan, dan belakang lapisan dalam.

$$T_f = \frac{T_s + T_{\infty}}{2} = \frac{320 + 319}{2} = 319,5 \text{ K}$$

- Properti-properti fluida

Dari $T_f = 319,5 \text{ K}$, maka dapat diketahui properti fluida dari *Appendix A.4* dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer***, yaitu :

$$\begin{aligned} \nu &= 17,8517 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \\ k &= 27,743 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \\ \alpha &= 25,386 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \\ \text{Pr} &= 0,7042 \end{aligned}$$

$$\rho = 1,0965 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu = 193,804 \times 10^{-7} \frac{\text{N.s}}{\text{m}^2}$$

- Kecepatan udara saat keluar cerobong

Suhu udara yang mengalir keluar cerobong, rata-ratanya sebesar $42^\circ\text{C} + 273 = 315^\circ\text{K}$. Maka didapatkan

$$\rho = 1,1115 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Re}_c = \frac{\rho_{\text{cerobong}} V_{\text{cerobong}} D_{\text{cerobong}}}{\mu}$$

$$= \frac{1,1115 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,82 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,09 \text{ m}}{193,168 \times 10^{-7} \frac{\text{N.s}}{\text{m}^2}}$$

$$= 4279,4605$$

$$n = -1,7 + 1,8 \log 4279,4605$$

$$= 4,8365$$

$$V = \frac{2n^2 + 1}{(n + 1)(2n + 1)}$$

$$= \frac{2(4,8365)^2 + 1}{((4,8365) + 1)(2(4,8365) + 1)} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$= \frac{46,7834 \text{ m}}{62,2929 \text{ s}}$$

$$= 0,7510 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- *Mass Flow Rate*

$$\dot{m} = \rho c \times Vc \times Ac$$

$$= 1,1115 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,7510 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,0081 \text{ m}^2$$

$$= 0,0067 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

- Kecepatan fluida di dalam oven
 $T_{oven} = 47^{\circ}\text{C} = 320^{\circ}\text{K}$
 $\rho_{in} = \rho$ didalam oven = dari T_{oven} rata-rata
Maka, dari hasil interpolasi, $\rho = 1,0948 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$\begin{aligned}\dot{m}_{keluar} &= \dot{m}_{fluida \text{ di dalam oven}} \\ \rho_{out} x V_{out} x A_{cerobong} &= \rho_{in} x V_{in} x A_{celah rak} \\ 0,0067 \frac{\text{kg}}{\text{s}} &= 1,0948 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} x V x (0,89 x 0,08) \text{m}^2 \\ V &= 0,0867 \frac{\text{m}}{\text{s}}\end{aligned}$$

1. Perhitungan Koefisien Konveksi Plat *Galvalume* dinding bagian kanan,depan,belakang lapisan dalam oven.

- Panjang Karakteristik
 $L = \text{Tinggi Plat Vertikal} = 1,330 \text{ m}$

- Reynold Number (R_{ex})

$$\begin{aligned}R_{ex} &= \frac{VL}{\nu} \\ &= \frac{0,0867 \frac{\text{m}}{\text{s}} x 1,330 \text{ m}}{17,8517 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \\ &= 6463,1838\end{aligned}$$

- Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $R_{ex} = 6463,1838$, maka besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $R_{ex} < 5 \cdot 10^5$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$\begin{aligned}
 N_{ux} &= 0,664 Re^{\frac{1}{2}} \times Pr^{\frac{1}{3}} \\
 &= 0,664 \times (6463,1838)^{\frac{1}{2}} \times (0,7042)^{\frac{1}{3}} \\
 &= 47,4923
 \end{aligned}$$

- Koefisien konveksi pada plat *Galvanized* dinding bagian kanan,depan,belakang lapisan dalam oven

$$\begin{aligned}
 h_1 &= \frac{N_{ux} \cdot k}{L} \\
 &= \frac{47,4923 \cdot 27,743 \cdot 10^{-3} \text{ W/m.K}}{1,330 \text{ m}} \\
 &= 0,9905 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Koefisien Konveksi Pada Plat *Galvalume* dinding bagian kiri lapisan dalam oven.

- Panjang karakteristik
 $L = \text{TinggiPlatVertikal} = 1,138 \text{ m}$

- Reynold Number (R_{ex})

$$\begin{aligned}
 R_{ex} &= \frac{VL}{\nu} \\
 &= \frac{0,0867 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 1,138 \text{ m}}{17,8517 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \\
 &= 5530,1528
 \end{aligned}$$

- Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $R_{ex}=5530,1528$ maka, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $R_{ex} < 5 \cdot 10^5$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$\begin{aligned}
 N_{ux} &= 0,664 Re^{\frac{1}{2}} \times Pr^{\frac{1}{3}} \\
 &= 0,664 \times (5530,1528)^{\frac{1}{2}} \times (0,7042)^{\frac{1}{3}} \\
 &= 43,9307
 \end{aligned}$$

- Koefisien konveksi pada plat *Galvalume* dinding bagian kiri lapisan luar oven

$$\begin{aligned}
 h_2 &= \frac{N_{ux} \cdot k}{L} \\
 &= \frac{43,9307 \cdot 27,743 \cdot 10^{-3} \text{ W/m.K}}{1,138 \text{ m}} \\
 &= 1,0708 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Koefisien Konveksi Pada Plat *Galvalume* dinding bagian atas lapisan dalam oven.

- Panjang karakteristik horizontal

$$L = \frac{4A}{P} = \frac{4x(1,17x0,81)}{2x(1,117 + 0,8)} = 0,9573 \text{ m}$$

- Reynold Number (R_{ex})

$$\begin{aligned}
 R_{ex} &= \frac{VL}{\nu} \\
 &= \frac{0,0867 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,9573 \text{ m}}{17,8517 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \\
 &= 4652,0345
 \end{aligned}$$

- Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $R_{ex} = 4652,0345$ maka, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $R_{ex} < 5 \cdot 10^5$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$\begin{aligned}
 N_{ux} &= 0,664 Re^{\frac{1}{2}} \times Pr^{\frac{1}{3}} \\
 &= 0,664 \times (4652,0345)^{\frac{1}{2}} \times (0,7042)^{\frac{1}{3}} \\
 &= 40,2922
 \end{aligned}$$

- Koefisien konveksi pada plat *Galvalume* dinding bagian atas lapisan dalam oven

$$\begin{aligned}
 h_3 &= \frac{N_{ux} \cdot k}{L} \\
 &= \frac{40,2922 \cdot 27,743 \cdot 10^{-3} \text{ W/m.K}}{0,9572 \text{ m}} \\
 &= 1,1675 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \text{K}
 \end{aligned}$$

- **Bagian Luar**
- Temperatur rata-rata antara temperatur ruangan oven dan temperatur *surface plate* bagian kanan, depan, dan belakang lapisan luar.

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} = \frac{305 + 304}{2} = 304,5 \text{ K}$$

- Properti-properti fluida
Dari $T_f = 304,5 \text{ K}$, maka dapat diketahui properti fluida dari *Appendix A.4* dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer***, yaitu :

$$\begin{aligned}
 \nu &= 16,3427 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \\
 k &= 26,633 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \\
 \alpha &= 23,166 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \\
 \text{Pr} &= 0,7063 \\
 \rho &= 1,1464 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\
 \mu &= 186,724 \times 10^{-7} \frac{\text{N.s}}{\text{m}^2}
 \end{aligned}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{304,5 \text{ K}} = 0,0032 \text{ K}^{-1}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

4. Perhitungan Koefisien Konveksi Pada Plat *Galvalume* dinding bagian kanan, depan, dan belakang lapisan luar oven.

- Panjang karakteristik

$$L = \text{Tinggi Plat Vertikal} = 1,330 \text{ m}$$

- Rayleigh Number (R_{aL})

$$\begin{aligned} Ra_L &= \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \\ &= \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,0032 \text{ K}^{-1} \cdot (305 - 304)\text{K} \cdot (1,330 \text{ m})^3}{16,3427 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 23,166 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \\ &= 199,93 \cdot 10^6 \end{aligned}$$

- Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $R_{aL} = 199,93 \cdot 10^6$, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $R_{aL} \leq 10^9$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$\begin{aligned} N_{uL} &= 0,68 + \frac{0,67 Ra_L^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \\ &= 0,68 + \frac{0,67 \cdot (199,93 \cdot 10^6)^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,7063}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \end{aligned}$$

$$= 61,7938$$

- Koefisien konveksi pada dinding kanan,depan,belakang bagian luar plat *Galvalume*

$$\begin{aligned} h_4 &= \frac{N_{uL} \cdot k}{L} \\ &= \frac{61,7938 \cdot 26,633 \cdot 10^{-3} \text{ W/m.K}}{1,330 \text{ m}} \\ &= 1,2358 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

5. Perhitungan Koefisien Konveksi Pada Plat *Galvalume* dinding bagian kiri lapisan luar oven.

- Panjang karakteristik
 $L = \text{Tinggi Plat Vertikal} = 1,138 \text{ m}$

- Rayleigh Number (R_{aL})

$$\begin{aligned} Ra_L &= \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \\ &= \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,0032 \text{ K}^{-1} \cdot (305 - 304)\text{K} \cdot (1,138 \text{ m})^3}{16,3427 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 23,166 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \\ &= 125,24 \cdot 10^6 \end{aligned}$$

- Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $R_{aL} = 125,24 \cdot 10^6$, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $R_{aL} \leq 10^9$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$\begin{aligned}
 N_{uL} &= 0,68 + \frac{0,67 Ra_L^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \\
 &= 0,68 + \frac{0,67 \cdot (125,24 \cdot 10^6)^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,7063}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \\
 &= 55,0497
 \end{aligned}$$

- Koefisien konveksi pada plat *Galvanized* dinding bagian kiri lapisan luar oven

$$\begin{aligned}
 h_5 &= \frac{N_{uL} \cdot k}{L} \\
 &= \frac{55,0497 \cdot 26,633 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}}{1,138 m} \\
 &= 1,2867 \frac{W}{m^2 \cdot K}
 \end{aligned}$$

6. Perhitungan Koefisien Konveksi Pada Plat *Galvalume* dinding bagian atas lapisan luar oven.
Untuk Bagian atas oven, perhitungan menggunakan free convection untuk plat horizontal dengan bagian bawah plat panas atau bagian atas plat dingin.

- Panjang karakteristik

$$L = \frac{4A}{P} = \frac{4x(1,17x0,81)}{2x(1,117 + 0,8)} = 0,9573 m$$

- Rayleigh Number (R_{aL})
 $\cos \alpha = \cos 5 = 0,996$

$$\begin{aligned}
 Ra_L &= \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \\
 &= \frac{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,0032 K^{-1} \cdot (305 - 304)K \cdot (0,9573 m)^3}{16,3427 \cdot 10^{-3} \frac{m^2}{s} \cdot 23,166 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}} \\
 &= 74,25 \cdot 10^6
 \end{aligned}$$

- Bilangan *Nusselt*
 Dengan hasil nilai dari $R_{aL} = 74,25 \cdot 10^6$, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $R_{aL} \leq 10^9$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$\begin{aligned}
 N_{uL} &= 0,52 \cdot R_{aL}^{\frac{1}{3}} \\
 &= 0,52 \cdot (74,25 \cdot 10^6)^{\frac{1}{3}} \\
 &= 63,0482
 \end{aligned}$$

- Koefisien konveksi pada plat *Galvanized* dinding bagian atas lapisan luar oven

$$\begin{aligned}
 h_6 &= \frac{N_{ux} \cdot k}{L} \\
 &= \frac{63,0482 \cdot 26,633 \cdot 10^{-3} m \cdot K}{0,9573 m} \\
 &= 1,751 \frac{W}{m^2 \cdot K}
 \end{aligned}$$

➤ Contoh perhitungan kerugian panas pada oven :

1. Dinding bagian depan (Q_{loss1})

$$\begin{aligned}
 R_{tot1} &= \frac{1}{h_1} + \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} \right) + \frac{1}{h_4} \\
 &= \left(\frac{1}{0,9905} + \left(\frac{0,0015}{237} + \frac{0,03}{0,058} + \frac{0,001}{166} \right) + \frac{1}{1,2358} \right) \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 2,3359 \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \\
Q_{loss_1} &= \frac{\Delta T}{R_{tot_1}} \times A_1 \\
&= \frac{(308 - 303) ^\circ K \cdot W}{2,3359 m^2 \cdot ^\circ K} \times 1,3327 m^2 \\
&= 2,8526 W
\end{aligned}$$

2. Dinding bagian kanan (Q_{loss2})

$$\begin{aligned}
R_{tot_2} &= R_{tot_1} \\
&= 2,3359 \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \\
Q_{loss_2} &= \frac{\Delta T}{R_{tot_2}} \times A_2 \\
&= \frac{(308 - 303) ^\circ K \cdot W}{2,3359 m^2 \cdot ^\circ K} \times 1,0773 m^2 \\
&= 2,3059 W
\end{aligned}$$

3. Dinding bagian belakang (Q_{loss3})

$$\begin{aligned}
Q_{loss_3} &= Q_{loss_1} \\
&= 2,8521 W
\end{aligned}$$

4. Dinding bagian kiri (Q_{loss4})

$$\begin{aligned}
R_{tot_4} &= \frac{1}{h_2} + \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} \right) + \frac{1}{h_5} \\
&= \frac{1}{1,0708} + \left(\frac{0,0015}{237} + \frac{0,03}{0,058} + \frac{0,001}{166} \right) + \frac{1}{1,2867} \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \\
&= 2,2282 \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{loss_4} &= \frac{\Delta T}{R_{tot_4}} \times A_4 \\
 &= \frac{(308 - 303) \text{ } ^\circ K \cdot W}{2,2282 \text{ } m^2 \cdot ^\circ K} \times 0,9217 \text{ } m^2 \\
 &= 2,0682 \text{ } W
 \end{aligned}$$

5. Dinding bagian atas (Q_{loss5})

$$\begin{aligned}
 R_{tot_5} &= \frac{1}{h_3} + \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} \right) + \frac{1}{h_6} \\
 &= \frac{1}{1,1675} + \left(\frac{0,0015}{237} + \frac{0,03}{0,058} + \frac{0,001}{166} \right) + \frac{1}{1,7518} \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \\
 &= 1,9445 \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{loss_5} &= \frac{\Delta T}{R_{tot_5}} \times A_5 \\
 &= \frac{(308 - 303) \text{ } ^\circ K \cdot W}{1,9445 \text{ } m^2 \cdot ^\circ K} \times 0,8698 \text{ } m^2 \\
 &= 2,2365 \text{ } W
 \end{aligned}$$

6. Semua Dinding Oven ($Q_{loss \text{ total}}$)

$$Q_{loss1} + Q_{loss2} + Q_{loss3} + Q_{loss4} + Q_{loss5} = 12,3159 \text{ } W$$

4.3.2 Qloss Pada Ruang Bakar

Temperatur rata-rata antara temperatur ruang bakar oven dan temperatur *surface plate* bagian dalam.

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} = \frac{332,5 + 331}{2} = 331,75 \text{ } K$$

- Properti-properti fluida
Dari $T_f = 331,75 \text{ K}$, maka dapat diketahui properti fluida dari *Appendix A.4* dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer***, yaitu :

$$v = 19,0840 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k = 28,6495 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\alpha = 27,19 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\text{Pr} = 0,7025$$

$$\rho = 1,0557 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu = 199,58 \times 10^{-7} \frac{\text{N.s}}{\text{m}^2}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{331,75 \text{ K}} = 0,0030 \text{ K}^{-1}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

- Kecepatan fluida di dalam oven
Toven = $58^\circ\text{C} = 331^\circ\text{K}$
 $\rho_{in} = \rho$ didalam oven = dari Toven rata-rata
Maka, dari hasil interpolasi, $\rho = 1,0582 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$\dot{m}_{keluar} = \dot{m}_{fluida \text{ di dalam ruang bakar}}$$

$$\rho_{out} x V_{out} x A_{cerobong} = \rho_{in} x V_{in} x A_{ruang bakar}$$

$$0,0067 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 1,0582 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} x V x 0,0712 \text{ m}^2$$

$$V = 0,0897 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

1. Perhitungan Koefisien Konveksi Plat *Galvalume* dinding bagian kiri,depan dan belakang lapisan dalam ruang bakar.

- Panjang Karakteristik
 $L = \text{Tinggi Plat Vertikal} = 0,5 \text{ m}$

- Reynold Number (R_{ex})

$$\begin{aligned} R_{ex} &= \frac{VL}{\nu} \\ &= \frac{0,0897 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,5 \text{ m}}{19,0840 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \\ &= 2351,7532 \end{aligned}$$

- Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $R_{ex} = 2351,7532$, maka besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $R_{ex} < 5 \cdot 10^5$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$\begin{aligned} N_{ux} &= 0,664 Re^{\frac{1}{2}} \times Pr^{\frac{1}{3}} \\ &= 0,664 \times (2351,7532)^{\frac{1}{2}} \times (0,7052)^{\frac{1}{3}} \\ &= 28,6250 \end{aligned}$$

- Koefisien konveksi pada plat *Galvanized* dinding bagian kanan,depan,belakang lapisan dalam oven

$$\begin{aligned} h_1 &= \frac{N_{ux} \cdot k}{L} \\ &= \frac{28,6250 \cdot 28,6495 \cdot 10^{-3} \text{ W/m.K}}{0,5 \text{ m}} \\ &= 1,6396 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Koefisien Konveksi Plat *Galvalume* dinding bagian kanan lapisan dalam ruang bakar.

- Panjang Karakteristik
 $L = \text{Tinggi Plat Vertikal} = 0,4 \text{ m}$

- Reynold Number (R_{ex})

$$\begin{aligned}
 R_{ex} &= \frac{VL}{\nu} \\
 &= \frac{0,0897 \frac{m}{s} \times 0,4 m}{19,0840 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}} \\
 &= 1881,4026
 \end{aligned}$$

- Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $R_{ex}=1881,4026$, maka besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $R_{ex} < 5 \cdot 10^5$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$\begin{aligned}
 N_{ux} &= 0,664 Re^{\frac{1}{2}} \times Pr^{\frac{1}{3}} \\
 &= 0,664 \times (1881,4026)^{\frac{1}{2}} \times (0,7052)^{\frac{1}{3}} \\
 &= 25,6030
 \end{aligned}$$

- Koefisien konveksi pada plat *Galvanized* dinding bagian kanan,depan,belakang lapisan dalam oven

$$\begin{aligned}
 h_2 &= \frac{N_{ux} \cdot k}{L} \\
 &= \frac{25,6030 \cdot 28,6495 \cdot 10^{-3} W / m \cdot K}{0,4 m} \\
 &= 1,8331 W / m^2 \cdot K
 \end{aligned}$$

- **Bagian Luar**

- Temperatur rata-rata antara temperatur ruangan oven dan temperatur *surface plate* bagian kiri, depan, dan belakang lapisan luar.

$$T_f = \frac{T_s + T_{\infty}}{2} = \frac{310 + 303}{2} = 306,5 K$$

- Properti-properti fluida
Dari $T_f = 306,5 \text{ K}$, maka dapat diketahui properti fluida dari *Appendix A.4* dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer***, yaitu :

$$v = 16,5430 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k = 26,781 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\alpha = 23,466 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\text{Pr} = 0,7063$$

$$\rho = 1,1397 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu = 186,724 \times 10^{-7} \frac{\text{N.s}}{\text{m}^2}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{306,5 \text{ K}} = 0,00326 \text{ K}^{-1}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

3. Perhitungan Koefisien Konveksi Pada Plat *Galvalume* dinding bagian kiri, depan, dan belakang lapisan luar ruang bakar.

- Panjang karakteristik

$$L = \text{Tinggi Plat Vertikal} = 0,5 \text{ m}$$

- Rayleigh Number (R_{aL})

$$\begin{aligned} Ra_L &= \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \\ &= \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,00326 \text{ K}^{-1} \cdot (310 - 304)\text{K} \cdot (0,5 \text{ m})^3}{16,3430 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 23,466 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \\ &= 72,10 \cdot 10^6 \end{aligned}$$

- Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $R_{aL} = 72,10 \cdot 10^6$, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang

bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $R_{aL} \leq 10^9$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$\begin{aligned} N_{uL} &= 0,68 + \frac{0,67 Ra_L^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \\ &= 0,68 + \frac{0,67 \cdot (72,10 \cdot 10^6)^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,7063}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \\ &= 48,0368 \end{aligned}$$

- Koefisien konveksi pada dinding kanan,depan,belakang bagian luar plat *Galvalume*

$$\begin{aligned} h_3 &= \frac{N_{uL} \cdot k}{L} \\ &= \frac{48,0368 \cdot 26,781 \cdot 10^{-3} \text{ W/m.K}}{0,5 \text{ m}} \\ &= 2,5729 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

4. Perhitungan Koefisien Konveksi Pada Plat *Galvalume* dinding bagian kananlapisan luar ruang bakar.

- Panjang karakteristik
L = Tinggi Plat Vertikal = 0,4 m

- Rayleigh Number (R_{aL})

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,003267 K^{-1} \cdot (310 - 304)K \cdot (0,4 m)^3}{16,3430 \cdot 10^{-3} \frac{m^2}{s} \cdot 23,466 \frac{m^2}{s}} \\
 &= 36,91 \cdot 10^6
 \end{aligned}$$

- Bilangan *Nusselt*

Dengan hasil nilai dari $R_{aL} = 36,91 \cdot 10^6$, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $R_{aL} \leq 10^9$. Maka rumus Nuselt yang digunakan ialah :

$$\begin{aligned}
 N_{uL} &= 0,68 + \frac{0,67 Ra_L^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \\
 &= 0,68 + \frac{0,67 \cdot (36,91 \cdot 10^6)^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,7063}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \\
 &= 40,7390
 \end{aligned}$$

- Koefisien konveksi pada dinding kanan,depan,belakang bagian luar plat *Galvalume*

$$\begin{aligned}
 h_4 &= \frac{N_{uL} \cdot k}{L} \\
 &= \frac{40,7390 \cdot 26,781 \cdot 10^{-3} W/m \cdot K}{0,4 m} \\
 &= 2,7275 W/m^2 \cdot K
 \end{aligned}$$

- Contoh perhitungan kerugian panas pada ruang bakar :

1. Dinding bagian depan

$$\begin{aligned}
 R_{tot1} &= \frac{1}{h_1} + \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} \right) + \frac{1}{h_3} \\
 &= \frac{1}{1,6396} + \left(\frac{0,0015}{237} + \frac{0,03}{0,058} + \frac{0,001}{166} \right) + \frac{1}{2,5729} \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \\
 &= 1,5158 \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ } Q_{loss1} &= \frac{\Delta T}{R_{tot1}} \times A_{depan} \\
 &= \frac{(310 - 303) ^\circ K \cdot W}{1,5158 m^2 \cdot ^\circ K} \times 0,486 m^2 \\
 &= 7,3743 W
 \end{aligned}$$

2. Dinding bagian kanan

$$\begin{aligned}
 R_{tot2} &= \frac{1}{h_2} + \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} \right) + \frac{1}{h_4} \\
 &= \frac{1}{1,8331} + \left(\frac{0,0015}{237} + \frac{0,03}{0,058} + \frac{0,001}{166} \right) + \frac{1}{2,7275} \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \\
 &= 1,4293 \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ } Q_{loss2} &= \frac{\Delta T}{R_{tot2}} \times A_{kanan} \\
 &= \frac{(310 - 303) ^\circ K \cdot W}{1,4293 m^2 \cdot ^\circ K} \times 0,324 m^2 \\
 &= 5,2134 W
 \end{aligned}$$

3. Dinding bagian belakang

$$\begin{aligned} \Rightarrow Q_{loss_3} &= Q_{loss_1} \\ &= 7,3743 \text{ W} \end{aligned}$$

4. Dinding bagian kiri

$$\begin{aligned} R_{tot4} &= \frac{1}{h_2} + \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} \right) + \frac{1}{h_4} \\ &= \frac{1}{1,8331} + \left(\frac{0,0015}{237} + \frac{0,03}{0,058} + \frac{0,001}{166} \right) + \frac{1}{2,7275} \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \\ &= 1,4293 \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow Q_{loss4} &= \frac{\Delta T}{R_{tot4}} \times A_{belakang} \\ &= \frac{(310 - 303) ^\circ K \cdot W}{1,4293 m^2 \cdot ^\circ K} \times 0,405 m^2 \\ &= 6,5168 \text{ W} \end{aligned}$$

5. Semua Dinding Ruang Bakar ($Q_{loss \text{ total}}$)

$$Q_{loss1} + Q_{loss2} + Q_{loss3} + Q_{loss4} = 26,4789 \text{ W}$$

4.3.3 Perhitungan $Q_{eksfiltrasi}$

Asumsi :

$$T_{atm} = 30,5 ^\circ C = 303,5 ^\circ K$$

$$V_w = 0,1 \text{ m/s}$$

$$T_{oven} = 50 ^\circ C = 323 ^\circ K$$

$$V_s = 0,82 \text{ m/s}$$

Perhitungan :

$$\Delta H = \text{Tinggi oven} + \text{Tinggi cerobong}$$

$$= 1,775 \text{ m} + 1 \text{ m}$$

$$= 2,775 \text{ m}$$

$$\Delta H = 2,26 \frac{Qe^{0,5}}{V_w} - 0,029 \frac{Vs \times D}{V_w}$$

Dimana

V_s = Kecepatan dalam oven (m/s)

V_w = Kecepatan angin (m/s)

Q_e = *Heat emission* (J/s)

= $\dot{m} \times C_p \times (T_s - T_a)$

\dot{m} = massa jenis pada oven (kg/s)

C_p = *Specific heat of steam* = 1005 J/kg K *for dry air at low temperature*

T_s = Temperatur dalam oven

T_a = Temperatur atmosfer

D = Diameter oven

$$\begin{aligned} \Delta H &= 2,26 \frac{(\dot{m} \times c_p (T_s - T_a))^{0,5}}{V_w} - 0,029 \frac{Vs \times D}{V_w} \\ 2,775 \text{ m} &= 2,26 \frac{(\dot{m} \times 1005 \frac{J}{kg} K (323 - 303,5) K)^{0,5}}{0,1 \frac{m}{s}} \\ &\quad - 0,029 \frac{0,82 \frac{m}{s} \times 1,17 \text{ m}}{0,1 \frac{m}{s}} \\ 2,775 \text{ m} &= 2,26 \frac{(\dot{m} \times 19597,5 \frac{J}{kg})^{0,5}}{0,1 \frac{m}{s}} - 0,2782 \text{ m} \\ 0,2775 \text{ m} &= 2,26 (\dot{m} \times 19597,5 \frac{J}{kg})^{0,5} - 0,2782 \text{ m} \\ 0,5557 \text{ m} &= 2,26 (\dot{m} \times 19597,5 \frac{J}{kg})^{0,5} \\ \left(\dot{m} \times 19597,5 \frac{J}{kg} \right)^{0,5} &= 0,3031 \frac{m^2}{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{m} \times 19597,5 \frac{J}{kg} &= \sqrt{0,3031 \frac{m^2}{s}} \\ \dot{m} \times 19597,55 \frac{J}{kg} &= 0,7454 \frac{m^2}{s} \\ \dot{m} &= 3,8 \times 10^{-5} \frac{kg}{s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_{\text{eksfiltrasi}} &= \dot{m} \times c_p \times (T_s - T_{\infty}) \\ &= 3,8 \times 10^{-5} \frac{kg}{s} \times 1008 \frac{J}{kgK} \times (323 - 303,5)K \\ &= 0,7469 \text{ W}\end{aligned}$$

4.3.4 Perhitungan Energi Kalor yang Digunakan Oven (Q_{sensible})

Udara lingkungan sebesar $37^{\circ}\text{C} = 303,5 \text{ K}$, dari Tabel A4 didapatkan :

$$\begin{aligned}C_p &= 1,0074 \frac{kJ}{kg.K} \\ \rho &= 1,128 \frac{kg}{m^3}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{sensible}} &= \dot{m}_{\text{eksfiltrasi}} \\ &= 3,8 \times 10^{-5} \frac{kg}{s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_{\text{sensible}} &= \dot{m} \times c_p \times \Delta T \\ &= 3,8 \times 10^{-5} \frac{kg}{s} \times 10074 \frac{J}{kgK} \times (323 - 310)K \\ &= 49,37 \text{ W}\end{aligned}$$

4.3.5 Perhitungan $Q_{\text{evaporasi}}$

Pada pengujian daun kelor dengan temperatur permukaan daun rata-rata $45,4^{\circ}\text{C} = 318,4^{\circ}\text{K}$, maka didapatkan sifat-sifat udara yakni :

- Tabel A.4 didapat : $\nu = 17,74 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$
- Tabel A.6 didapat : $hfg = 2393,84 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
- Tabel A.8 didapat : $D_{AB} = 0,29 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$

- Panjang karakteristik (L)

$$L = \frac{A}{p} = \frac{(0,89 \times 0,715)}{2 \times (0,89 \times 0,715)} \\ = 0,198 \text{ m}$$

Maka,

$$Sc = \frac{\nu}{D_{AB}} = \frac{17,74 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}{0,29 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 0,6117$$

- Reynold Number

$$R_{ex} = \frac{V L}{\nu} \\ = \frac{0,0864 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,198 \text{ m}}{17,74 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \\ = 965,497$$

$R_{ex} = 965,497$ maka, besarnya nilai tersebut merupakan *Laminar*, dengan batas yang bersumber dari dari buku ***Fundamental Of Heat And Mass Transfer*** ialah $R_{ex} \leq 2.300$

$$\begin{aligned}\text{Maka: } \overline{Sh_L} &= \frac{h_m L}{D_{AB}} = 0,664 \text{Re}^{\frac{1}{2}} \times Sc^{\frac{1}{3}} \\ &= 0,664(965,497)^{\frac{1}{2}} \times (0,6117)^{\frac{1}{3}} \\ &= 17,5114 \frac{m}{s}\end{aligned}$$

- Koefisien perpindahan massa konveksi

$$h_m = \frac{\overline{Sh_L} D_{AB}}{L} = \frac{17,5114 \times 0,29 \cdot 10^{-4} \frac{m^2}{s}}{0,198m} = 2,5652 \cdot 10^{-5} \frac{m}{s}$$

- Sifat – sifat udara pada $T_{\infty_1} = 45,4^\circ\text{C} = 318,4^\circ\text{K}$ (Tabel A4.) didapat :

$$\rho = 1,1001 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- Sifat – sifat udara pada $T_{\infty_2} = 32^\circ\text{C} = 305^\circ\text{K}$ (Tabel A4.) didapat :

$$\rho = 1,1447 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- Laju massa uap air yang dipindahkan ke udara sekeliling, yaitu:

$$\begin{aligned}\dot{m} &= h_m \times A_r \times (\rho T_{\infty_1} - \rho T_{\infty_2}) \\ &= 2,5652 \cdot 10^{-5} \frac{m}{s} \times 3,18175 \text{ m}^2 \times (1,1447 - 1,1001) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ &= 0,072 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{s}\end{aligned}$$

Maka, $Q_{\text{evaporasi}}$

$$\begin{aligned}Q_{\text{evaporasi}} &= \dot{m} \times h_{fg} \\ &= 0,072 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{s} \times 2393,84 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times 1000 \\ &= 17,4071\end{aligned}$$

4.2.3 Perhitungan Panas yang Masuk ke Pengering (Q_{in})

Pada ruang oven $Q_{storage}$ dalam kondisi steady state

$$Q_{st} = \frac{\partial T}{\partial x} (m.c) \longrightarrow \text{Transient}$$

dari persamaan kesetimbangan energi :

$$Q_{in} = Q_{evap} + Q_{sensible} + Q_{loss \text{ total}} (\text{dinding, eksfiltrasi dan ruang bakar})$$

$$Q_{in} = 17,4071 \text{ W} + 49,37 \text{ W} + 12,3159 \text{ W} + 0,7469 \text{ W} + 26,4789 \text{ W}$$

$$Q_{in} = 106,3189 \text{ W}$$

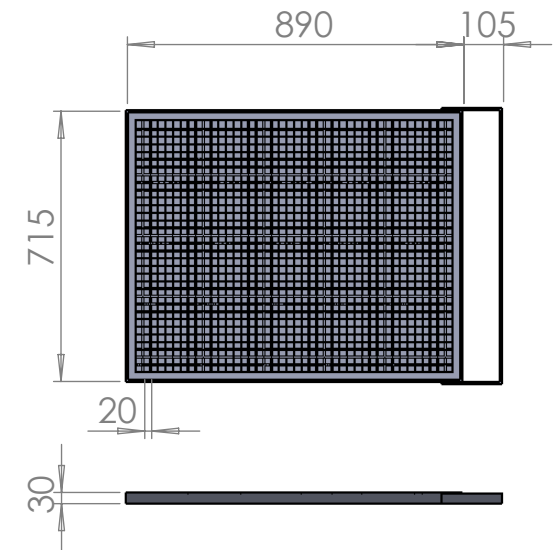
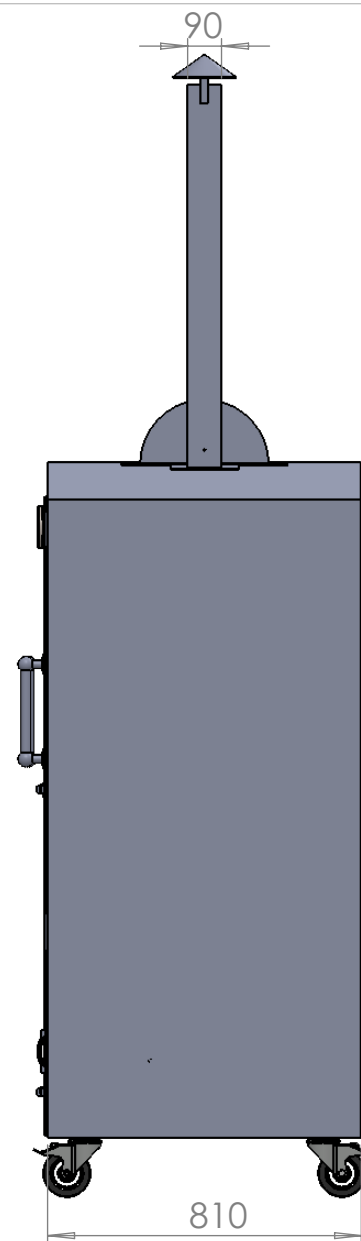
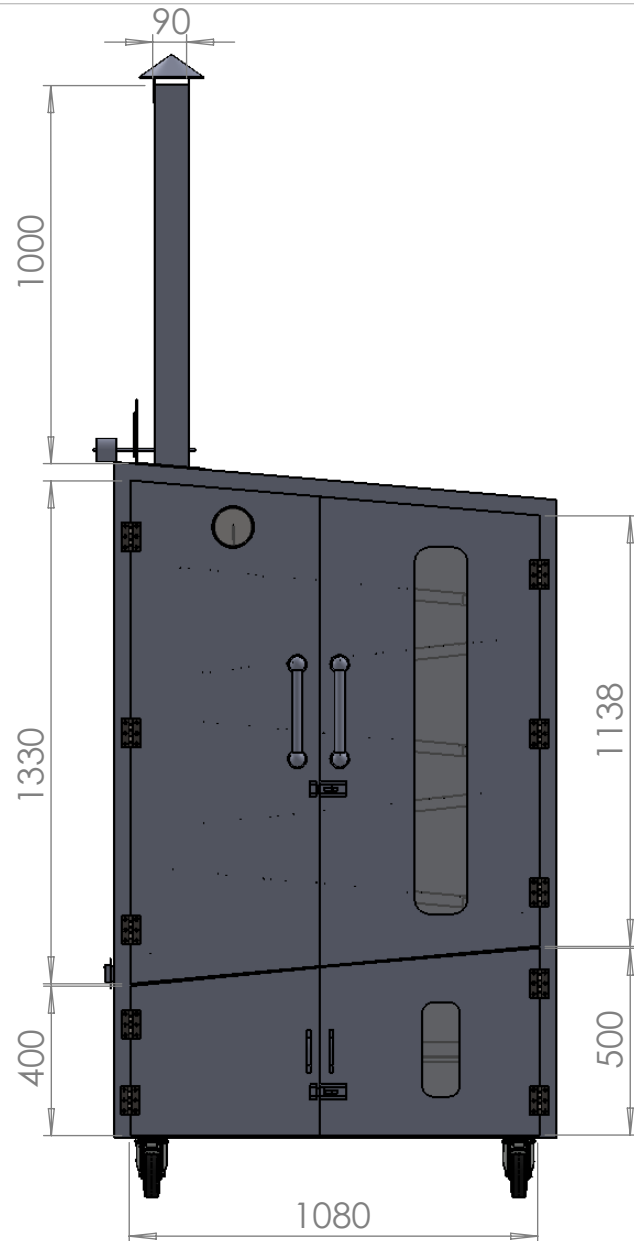
Sehingga dapat diperoleh, nilai Q_{in} dari rancang bangun oven ini sebesar 106,3189 W.

4.2.4 Perhitungan Efektivitas Oven

Setelah mendapat harga Q_{evap} dan Q_{in} maka didapat efisiensi sebesar,

$$\begin{aligned} \eta \text{ Oven} &= \frac{Q_{\text{evaporasi}} + Q_{\text{sensible}}}{Q_{in}} \\ &= \frac{17,4071 \text{ W} + 49,37 \text{ W}}{106,3189 \text{ W}} \times 100\% \\ &= 0,6280 \times 100 \% \\ &= \mathbf{62,8 \%} \end{aligned}$$

Halaman ini sengaja dikosongkan



SKALA : 1:20

SATUAN : mm

TANGGAL: 10-6-2016

NAMA : AHMAD HISYAM

NRP : 2113 030 033

DILIHAT : IR JOKO S, MT

KETERANGAN:

D3 T. MESIN

OVEN PENGERING

NO 1

A4

Lampiran 1

Tabel Konversi Satuan

<i>Parameter</i>	<i>English Unit</i>	<i>Metric Unit</i>
Area	1 in ²	6.452 cm ²
	1 ft ²	0.0929 m ²
Density	1 slug/ft ³	515 kg/m ³
Energy	1 ft · lb	1.356 J
Flow-rate	1 ft ³ /s	0.0284 m ³ /s
	1 gpm	0.06309 L/s
Force	1 lb	4.448 N
Length	1 ft	0.3048 m
	1 in	2.540 cm
Mass	1 slug	14.59 kg
Power	1 ft · lb/s	1.356 W
	1 hp	745.7 W
	1 Btu/min	0.0176 kW
Pressure	1 psi	6895 Pa
	1 psi	0.06895 bars
	1 standard atmosphere (14.7 psia)	101.3 kPa abs
Specific weight	1 lb/ft ³	157 Nm ⁻³
Velocity	1 ft/s	0.3048 m/s
Viscosity (absolute)	1 lb · s/ft ²	47.88 Pa · s
<i>Parameter</i>	<i>English Unit</i>	<i>Metric Unit</i>
Viscosity (kinematic)	1 ft ² /s	0.0929 m ² /s
Volume	1 in ³	16.39 cm ³
	1 gal	3.785 L
<i>Parameter</i>	<i>First English Unit</i>	<i>Second English Unit</i>
Energy	1 Btu	778 ft · lb
Flow-rate	1 ft ³ /s	449 gpm
	1 hp	550 ft · lb/s
Power	1 hp	42.4 Btu/min
	1 rpm	0.1047 rad/s
Velocity (angular)	1 rpm	0.1047 rad/s
Volume	1 gal	231 in ³
	1 gal	0.135 ft ³

<i>Parameter</i>	<i>First Metric Unit</i>	<i>Second Metric Unit</i>
Force	1 N	10^5 dyn
Pressure	1 bar	10^5 Pa
Velocity (ang.)	1 rpm	0.1047 rad/s
Viscosity (abs.)	$1 \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$	10 poise
	1 poise	$1 \text{ dyn} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$
Viscosity (kin.)	$1 \text{ m}^2/\text{s}$	10,000 stokes
	1 stoke	$1 \text{ cm}^2/\text{s}$
Volume	1 m^3	1000 L
	1 cm^3	0.001 L

Temperature Conversions

$$T(^{\circ}\text{F}) = 1.8 T(^{\circ}\text{C}) + 32 \quad T(^{\circ}\text{C}) = \frac{T(^{\circ}\text{F}) - 32}{1.8}$$

$$T(^{\circ}\text{R}) = 1.8 T(\text{K}) \quad T(\text{K}) = \frac{T(^{\circ}\text{R})}{1.8}$$

$$T(^{\circ}\text{R}) = T(^{\circ}\text{F}) + 460 \quad T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273$$

Lampiran 2

TABLE A.1 Thermophysical Properties of Selected Metallic Solids^a

Composition	Melting Point (K)	Properties at 300 K				Properties at Various Temperatures (K)									
		ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	k (W/m · K)/ c_p (J/kg · K)									
						100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500
Aluminum															
Pure	933	2702	903	237	97.1	302	237	240	231	218					
						482	798	949	1033	1146					
Alloy 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2770	875	177	73.0	65	163	186	186						
Alloy 195, Cast (4.5% Cu)		2790	883	168	68.2			174	185						
Beryllium	1550	1850	1825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8	78.7			
						203	1114	2191	2604	2823	3018	3227	3519		
Bismuth	545	9780	122	7.86	6.59	16.5	9.69	7.04							
						112	120	127							
Boron	2573	2500	1107	27.0	9.76	190	55.5	16.8	10.6	9.60	9.85				
						128	600	1463	1892	2160	2338				
Cadmium	594	8650	231	96.8	48.4	203	99.3	94.7							
						198	222	242							
Chromium	2118	7160	449	93.7	29.1	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4	61.9	57.2	49.4	
						192	384	484	542	581	616	682	779	937	
Cobalt	1769	8862	421	99.2	26.6	167	122	85.4	67.4	58.2	52.1	49.3	42.5		
						236	379	450	503	550	628	733	674		
Copper															
Pure	1358	8933	385	401	117	482	413	393	379	366	352	339			
						252	356	397	417	433	451	480			
Commercial bronze (90% Cu, 10% Al)	1293	8800	420	52	14		42	52	59						
Phosphor gear bronze (89% Cu, 11% Sn)	1104	8780	355	54	17		785	460	545						
							41	65	74						
Cartridge brass (70% Cu, 30% Zn)	1188	8530	380	110	33.9	75	95	137	149						
							360	395	425						
Constantan (55% Cu, 45% Ni)	1493	8920	384	23	6.71	17	19								
						237	362								
Germanium	1211	5360	322	59.9	34.7	232	96.8	43.2	27.3	19.8	17.4	17.4			
						190	290	337	348	357	375	395			

Lampiran 3

Appendix A ■ Thermophysical Properties of Matter

TABLE A.3 *Continued*

Insulating Materials and Systems

Description/Composition	Typical Properties at 300 K		
	Density, ρ (kg/m ³)	Thermal Conductivity, k (W/m·K)	Specific Heat, c_p (J/kg·K)
Blanket and Batt			
Glass fiber, paper faced	16	0.046	—
	28	0.038	—
	40	0.035	—
Glass fiber, coated, duct liner	32	0.038	835
Board and Slab			
Cellular glass	145	0.058	1000
Glass fiber, organic bonded	105	0.036	795
Polystyrene, expanded			
Extruded (R-12)	55	0.027	1210
Molded beads	16	0.040	1210
Mineral fiberboard; roofing material	265	0.049	—
Wood, shredded/cemented	350	0.087	1590
Cork	120	0.039	1800
Loose Fill			
Cork, granulated	160	0.045	—
Diatomaceous silica, coarse	350	0.069	—
Powder	400	0.091	—
Diatomaceous silica, fine powder	200	0.052	—
	275	0.061	—
Glass fiber, poured or blown	16	0.043	835
Vermiculite, flakes	80	0.068	835
	160	0.063	1000
Formed/Foamed-in-Place			
Mineral wool granules with asbestos/inorganic binders, sprayed	190	0.046	—
Polyvinyl acetate cork mastic; sprayed or troweled	—	0.100	—
Urethane, two-part mixture; rigid foam	70	0.026	1045
Reflective			
Aluminum foil separating fluffy glass mats; 10–12 layers, evacuated; for cryogenic applications (150 K)	40	0.00016	—
Aluminum foil and glass paper laminate; 75–150 layers; evacuated; for cryogenic application (150 K)	120	0.000017	—
Typical silica powder, evacuated	160	0.0017	—

Lampiran 4

TABLE A.4 Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure^a

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg·K)	$\mu \cdot 10^7$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^5$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Air, $M = 28.97$ kg/kmol							
100	3.5962	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.5364	1.012	103.4	4.426	15.8	5.84	0.738
200	1.7498	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7790	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.6	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	257	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	246	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536
Ammonia (NH₃), $M = 17.03$ kg/kmol							
300	0.6894	2.158	101.5	14.7	24.7	16.6	0.887
320	0.6448	2.170	109	16.9	27.2	19.4	0.870
340	0.6059	2.192	116.5	19.2	29.3	22.1	0.872
360	0.5716	2.221	124	21.7	31.6	24.9	0.872
380	0.5410	2.254	131	24.2	34.0	27.9	0.869

Lampiran 5

TABLE A.6 Thermophysical Properties of Saturated Water^a

Temperature, T (K)	Pressure, p (bars) ^b	Specific Volume (m ³ /kg)		Heat of Vapor- ization, h_{fg} (kJ/kg)	Specific Heat (kJ/kg · K)		Viscosity (N · s/m ²)		Thermal Conductivity (W/m · K)		Prandtl Number		Surface Tension, $\sigma_f \cdot 10^3$ (N/m)	Expansion Coeffi- cient, $\beta_f \cdot 10^4$ (K ⁻¹)	Temperature, T (K)
		$v_f \cdot 10^3$	v_g		$c_{p,f}$	$c_{p,g}$	$\mu_f \cdot 10^6$	$\mu_g \cdot 10^6$	$k_f \cdot 10^3$	$k_g \cdot 10^3$	Pr_f	Pr_g			
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	16.2	12.99	0.815	75.5	-68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	16.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	16.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	16.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.96	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	664	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.186	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	679.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.337	2238	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385
390	1.794	1.058	0.980	2212	4.239	2.104	237	12.69	686	26.3	1.47	1.013	55.6	841	390
400	2.455	1.067	0.731	2183	4.256	2.158	217	13.05	688	27.2	1.34	1.033	53.6	896	400
410	3.302	1.077	0.553	2153	4.278	2.221	200	13.42	688	28.2	1.24	1.054	51.5	952	410
420	4.370	1.088	0.425	2123	4.302	2.291	185	13.79	688	29.8	1.16	1.075	49.4	1010	420
430	5.699	1.099	0.331	2091	4.331	2.369	173	14.14	685	30.4	1.09	1.10	47.2		430

Lampiran 6

TABLE A.8 Binary Diffusion Coefficients at One Atmosphere^{a,b}

Substance A	Substance B	<i>T</i> (K)	<i>D</i> _{AB} (m ² /s)
Gases			
NH ₃	Air	298	0.28×10^{-4}
H ₂ O	Air	298	0.26×10^{-4}
CO ₂	Air	298	0.16×10^{-4}
H ₂	Air	298	0.41×10^{-4}
O ₂	Air	298	0.21×10^{-4}
Acetone	Air	273	0.11×10^{-4}
Benzene	Air	298	0.88×10^{-5}
Naphthalene	Air	300	0.62×10^{-5}
Ar	N ₂	293	0.19×10^{-4}
H ₂	O ₂	273	0.70×10^{-4}
H ₂	N ₂	273	0.68×10^{-4}
H ₂	CO ₂	273	0.55×10^{-4}
CO ₂	N ₂	293	0.16×10^{-4}
CO ₂	O ₂	273	0.14×10^{-4}
O ₂	N ₂	273	0.18×10^{-4}
Dilute Solutions			
Caffeine	H ₂ O	298	0.63×10^{-9}
Ethanol	H ₂ O	298	0.12×10^{-8}
Glucose	H ₂ O	298	0.69×10^{-9}
Glycerol	H ₂ O	298	0.94×10^{-9}
Acetone	H ₂ O	298	0.13×10^{-8}
CO ₂	H ₂ O	298	0.20×10^{-8}
O ₂	H ₂ O	298	0.24×10^{-8}
H ₂	H ₂ O	298	0.63×10^{-8}
N ₂	H ₂ O	298	0.26×10^{-8}
Solids			
O ₂	Rubber	298	0.21×10^{-9}
N ₂	Rubber	298	0.15×10^{-9}
CO ₂	Rubber	298	0.11×10^{-9}
He	SiO ₂	293	0.4×10^{-13}
H ₂	Fe	293	0.26×10^{-12}
Cd	Cu	293	0.27×10^{-18}
Al	Cu	293	0.13×10^{-23}

^aAdapted with permission from References 24, 25, and 26.

^bAssuming ideal gas behavior, the pressure and temperature dependence of the diffusion coefficient for a binary mixture of gases may be estimated from the relation

$$D_{AB} \propto p^{-1} T^{3/2}$$

Lampiran 7

Section: Appendix A
Lower and Higher Heating Values of Gas, Liquid and Solid Fuels

Fuels	Lower Heating Value (LHV) [1]			Higher Heating Value (HHV) [1]			Density
	Btu/lb [2]	Btu/lb [3]	MJ/kg [4]	Btu/lb [2]	Btu/lb [3]	MJ/kg [4]	grams/lb
Gaseous Fuels @ 32 F and 1 atm							
Natural gas	983	20,267	47,141	1089	22,453	52,225	22.0
Hydrogen	290	51,682	120,21	343	61,127	142,18	2.55
Still gas (in refineries)	1458	20,163	46,888	1,584	21,905	50,951	32.8
Liquid Fuels							
Crude oil	129,670	18,352	42,686	138,350	19,580	45,543	3.205
Conventional gasoline	116,090	18,679	43,448	124,340	20,007	46,536	2.819
Reformulated or low-sulfur gasoline	113,502	18,211	42,358	121,848	19,533	45,433	2.830
CA reformulated gasoline	113,927	18,272	42,500	122,174	19,595	45,577	2.828
U.S. conventional diesel	128,450	18,397	42,791	137,380	19,676	45,766	3.167
Low-sulfur diesel	129,488	18,320	42,612	138,490	19,594	45,575	3.206
Petroleum naphtha	116,920	19,320	44,938	125,080	20,669	48,075	2.745
NG-based FT naphtha	111,520	19,081	44,383	119,740	20,488	47,654	2.651
Residual oil	140,353	16,968	39,466	150,110	18,147	42,210	3.752
Methanol	57,250	8,639	20,094	65,200	9,838	22,884	3.006
Ethanol	76,330	11,587	26,952	84,530	12,832	29,847	2.988
Butanol	99,837	14,775	34,366	108,458	16,051	37,334	3.065
Acetone	83,127	12,721	29,589	89,511	13,698	31,862	2.964
E-Diesel Additives	116,090	18,679	43,448	124,340	20,007	46,536	2.819
Liquefied petroleum gas (LPG)	84,950	20,038	46,607	91,410	21,561	50,152	1.923
Liquefied natural gas (LNG)	74,720	20,908	48,632	84,820	23,734	55,206	1.621
Dimethyl ether (DME)	68,930	12,417	28,882	75,610	13,620	31,681	2.518
Dimethoxy methane (DMM)	72,200	10,061	23,402	79,197	11,036	25,670	3.295
Methyl ester (biodiesel, BD)	119,550	16,134	37,528	127,960	17,269	40,168	3.361
Fischer-Tropsch diesel (FTD)	123,670	18,593	43,247	130,030	19,549	45,471	3.017
Renewable Diesel I (SuperCetane)	117,059	18,729	43,563	125,294	20,047	46,628	2.835
Renewable Diesel II (UOP-HDO)	122,887	18,908	43,979	130,817	20,128	46,817	2.948
Renewable Gasoline	115,983	18,590	43,239	124,230	19,911	46,314	2.830
Liquid Hydrogen	30,500	51,621	120,07	36,020	60,964	141,80	268
Methyl tertiary butyl ether (MTBE)	93,540	15,094	35,108	101,130	16,319	37,957	2.811
Ethyl tertiary butyl ether (ETBE)	96,720	15,613	36,315	104,530	16,873	39,247	2.810
Tertiary amyl methyl ether (TAME)	100,480	15,646	36,392	108,570	16,906	39,322	2.913
Butane	94,970	19,466	45,277	103,220	21,157	49,210	2.213
Isobutane	90,060	19,287	44,862	98,560	21,108	49,096	2.118
Isobutylene	95,720	19,271	44,824	103,010	20,739	48,238	2.253
Propane	84,250	19,904	46,296	91,420	21,597	50,235	1.920
Solid Fuels							
Coal (wet basis) [6]	19,546,300	9,773	22,732	20,608,570	10,304	23,968	
Bituminous coal (wet basis) [7]	22,460,600	11,230	26,122	23,445,900	11,723	27,267	
Coking coal (wet basis)	24,600,497	12,300	28,610	25,679,670	12,840	29,865	
Farmed trees (dry basis)	16,811,000	8,406	19,551	17,703,170	8,852	20,589	
Herbaceous biomass (dry basis)	14,797,555	7,399	17,209	15,582,870	7,791	18,123	
Corn stover (dry basis)	14,075,990	7,038	16,370	14,974,460	7,487	17,415	
Forest residue (dry basis)	13,243,490	6,622	15,402	14,164,160	7,082	16,473	
Sugar cane bagasse	12,947,318	6,474	15,058	14,062,678	7,031	16,355	
Petroleum coke	25,370,000	12,685	29,505	26,920,000	13,460	31,308	

Source:

GREET, The Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use In Transportation Model, GREET 1.8d.1, developed by Argonne National Laboratory, Argonne, IL, released August 26, 2010.
<http://greet.es.anl.gov/>

Lampiran 8

(Cengel A. Yunus, *Heat Transfer A Practical Approach*)

TABLE 11-4

In a binary ideal gas mixture of species *A* and *B*, the diffusion coefficient of *A* in *B* is equal to the diffusion coefficient of *B* in *A*, and both increase with temperature

<i>T</i>, °C	<i>D</i>_{H₂O-Air} or <i>D</i>_{Air-H₂O} at 1 atm, in m²/s (from Eq. 11-15)
0	2.09×10^{-5}
5	2.17×10^{-5}
10	2.25×10^{-5}
15	2.33×10^{-5}
20	2.42×10^{-5}
25	2.50×10^{-5}
30	2.59×10^{-5}
35	2.68×10^{-5}
40	2.77×10^{-5}
50	2.96×10^{-5}
100	3.99×10^{-5}
150	5.18×10^{-5}

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil uji analisis yang telah dilakukan, didapatkan alat pengering (oven) dengan dimensi yang sesuai yaitu 1,080 meter x 0,810 meter x 1,775 meter dan dirancang dengan rak yang tersusun miring disertai dengan baffle dari plat galvalum dan memiliki lubang ventilasi berupa cerobong dan saluran samping fluida panas guna pemerataan distribusi temperatur di setiap tingkat rak, dan menggunakan rumus pendekatan *External flow* (bagian dalam oven) dan *Free Convection* (bagian luar oven). Sedemikian hingga oven tersebut bekerja sesuai dengan kriteria yang dibutuhkan.

Dari hasil pengujian pengeringan bahan basah daun mengkudu rajangan, didapatkan suatu data sebagai berikut:

1. Kerugian panas (Q_{loss}) yaitu sebesar 12,3159 W pada dinding oven keseluruhan.
2. Q_{loss} pada Ruang Bakar sebesar 26,4789 W. Pada ruang bakar memiliki Q_{loss} yang lebih besar karena konstruksi ruang bakar yang besar pula.
3. Kalor yang masuk pengering (Q_{in}) yang didapat yaitu 106,3189 W.
4. Panas yang keluar dari cerobong ($Q_{\text{eksfiltrasi}}$) dari perhitungan yaitu sebesar 0,7469 W.
5. Kalor Penguapan (Q_{evap}) yang diperoleh yaitu sebesar 17,4071 W.
6. Efektifitas Oven yang diperoleh dari perhitungan yaitu sebesar 62,8 % dan waktu rata-rata proses pengeringan adalah 195 menit.

Jadi, semakin besar beban, maka akan semakin besar kerugian panas yang didapat, tetapi menghasilkan kalor penguapan lebih besar dan mendapat pengurangan bobot lebih besar, namun membutuhkan durasi pengeringan lebih lama.

5.2 Saran

Pengeringan daun kelor dapat ditinjau dari aspek-aspek seperti besar luasan daun dan kadar air pada daun kelor tersebut. Bila kedua aspek tersebut ada pada daun maka proses pengeringan akan membutuhkan tambahan waktu agar hasil pengeringan sesuai.

Kekurangan pada oven ini antara lain :

1. Bahan pada luar oven (pada bagian ruang bakar) karena losses cukup besar dan tidak memiliki bahan isolator agar panas yang keluar dari dinding oven berkurang.
2. Belum adanya sistem kendali otomatis untuk mengatur waktu pengeringan dan suhu pengeringan agar hasil peneringan sesuai dengan kebutuhan misalnya berupa *ampere meter*.
3. Ukuran dari dimensi baffle pada oven sebaiknya dirancang khusus untuk daun kelor, sehingga peletakkan dalam baffle bisa lebih banyak dan tidak terjatuh dibawah baffle.

Oleh karena itu untuk pengembangan selanjutnya pada pengering perlu adanya tambahan bahan isolator agar panas yang digunakan untuk mengeringkan bahan semakin banyak dan penambahan sistem kendali otomatis agar efisiensi waktu, kualitas bahan, dan suhu pengeringan dapat dioptimalkan dengan lebih baik. Dan perlu pengujian pada beban penuh agar didapat data yang real.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alfalah, Afif. 2014. *Tugas Rancang Ulang Oven Guna Mengeringkan Jamur Tiram Dengan Daya Tampung 5,4 Kg*
- [2] Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., dan Dewitt D.P. 2011. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer Seventh Edition*. John Wiley & sons, inc.
- [3] Cengel, A. Yunus., dan Turner, Robert H. 2003. *Heat Transfer A practical Approach*. McGraw-Hill Companies, Inc.
- [4] Hidayati, Dian. 2013. *Tugas Akhir Uji Eksperimental Pengaruh Bukaian cerobong Pada Oven Terhadap Kecepatan Pengeringan Kerupuk Rengginang*.
- [5] Krisnadi, A. Dudi. 2015 “Gerakan Swadaya Masyarakat Penanaman dan Pemanfaatan Tanaman Kelor Dalam Rangka Mendukung Gerakan Nasional Sadar Gizi dan Mengatasi Malnutrisi di Indonesia “. *Kelor Super Nutrisi*
- [6] Pritchard, Philip J. 2011. *Fox and McDonald’s Introduction to Fluid Mechanics 8th Edition*. John Wiley & sons, inc.
- [7] Ramadhani P, Suci. 2015. *Analisis Perpindahan Panas Pada Oven Berbahan Bakar LPG Untuk Proses Pengeringan Daun Mengkudu Dengan Daya Tampung 1,2 Kg*.
- [8] Sholeh H, Rahmat. 2014. *Tugas Akhir Perencanaan Ulang Oven Untuk Proses Pengeringan Temulawak Dengan Sumber Panas LPG*.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya pada 27 September 1995, merupakan anak bungsu dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Tunas Mulya Surabaya, SDN Baratajaya, SMPN 12 Surabaya, dan SMAN 15 Surabaya. Setelah lulus dari SMAN tahun 2013, Penulis melanjutkan pendidikannya di D3 Teknik Mesin FTI-ITS.

Penulis juga aktif mengikuti kegiatan organisasi, pelatihan ,maupun lomba keolahragaan. Organisasi yang pernah diikuti antara lain Staf DEPARTEMEN LINGPUS HMDM, Staf DEPARTEMEN DAGRI BEM FTI-ITS pada tahun kepengurusan 2014/2015. Pada kepengurusan 2015/2016 penulis juga diamanahi menjadi Direktur BSO MINAT BAKAT HMDM FTI-ITS. Selain itu penulis mengikuti beberapa pelatihan yakni LKMM Pra-TD XI FTI-ITS 2014, LKMM TD V HMDM 2014, LOT 1 BEM FTI-ITS 2014 dan lain-lain. Serta penulis pernah beberapa kali mengikuti perlombaan futsal maupun sepak bola tingkat jurusan dan fakultas. Untuk Kerja Praktek penulis diterima di PT.IPMOMI Paiton, Probolinggo selama 1 bulan.

Dalam pengerjaan tugas akhir, penulis membutuhkan waktu pengerjaan kurang lebih 5 bulan pada semester 6 pendidikan di D3 Teknik Mesin FTI-ITS. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa D3 Teknik mesin FTI-ITS khususnya serta untuk kebermanfaat masyarakat luas kedepannya.

Email : *ahmadhisem@gmail.com*